



AVALIAÇÃO DA ESTABILIZAÇÃO E POSSIBILIDADE DE VALORIZAÇÃO DE EFLUENTES DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

ANTÓNIO MARIA DE MENESES ROSA LENCASTRE

novembro de 2020

AVALIAÇÃO DA ESTABILIZAÇÃO E POSSIBILIDADE DE VALORIZAÇÃO DE EFLUENTES DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

António Maria de Meneses Rosa Lencastre
1181267

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



AVALIAÇÃO DA ESTABILIZAÇÃO E POSSIBILIDADE DE VALORIZAÇÃO DE EFLUENTES DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

António Maria de Meneses Rosa Lencastre
1181267

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Energias Sustentáveis, realizada sob a orientação da Doutora Nídia de Sá Caetano e supervisão do Dr. Telmo Machado

2019-2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutor Manuel Carlos Malheiro de Carvalho Felgueiras
Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutora Nídia de Sá Caetano
Professora Coordenadora do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Supervisor

Dr. Telmo Machado
Gestor de Projetos, Lipor

Arguente

Doutor António Augusto Areosa Martins
Investigador, LEPABE – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecer à Eng^a Benedita Chaves e ao Dr. Telmo Machado por me proporcionarem realizar esta dissertação numa empresa tão conceituada a nível nacional e internacional como é a Lipor, e por disponibilizarem todo o material necessário para a elaboração desta dissertação de mestrado.

Em segundo lugar à minha orientadora do ISEP, Eng^a Nídia Sá Caetano por todo o tempo e paciência disponibilizada nestes meses difíceis que atravessamos durante a realização desta dissertação.

A todos os funcionários presentes nos laboratórios de ISEP, que contribuíram para esta dissertação, em especial à Eng^a Marília, à Eng^a Magda, à Eng^a Paula, ao Eng^o Tomás e ao Eng^o Bruno que sempre foram pacientes e sempre se disponibilizaram para me ajudar.

A todos os docentes e colegas que tive oportunidade de conhecer durante todo o meu percurso académico.

Aos meus pais e avó, pela oportunidade que me deram de estudar e pelo apoio incondicional dado ao longo destes 5 anos e principalmente nestes últimos 6 meses extremamente complicados.

À minha namorada, Diana, pelo apoio fundamental que me deu e por todas as palavras de incentivo.

Aos meus amigos, por me acompanharem e apoiarem ao longo deste percurso.

A todos muito obrigado!

A Prof.^a Nídia de Sá Caetano, orientadora desta dissertação, é membro integrado do LEPABE – Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente Biotecnologia e Energia, financiado pela Unidade de Investigação UID/EQU/00511/2020 - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia – LEPABE - financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Esta dissertação foi realizada no âmbito do Projeto ALGAVALOR – MicroALGAs: produção integrada e VALORização da biomassa e das suas diversas aplicações (POCI-01-0247-FEDER-035234), financiado pelo Sistema de Incentivos à Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (SI I&DT) Regime Contratual de Investimento (RCI) - Projetos em Copromoção.

PALAVRAS CHAVE

Biofertilizantes; remoção de nutrientes; tratamento de lixiviados; valorização de efluentes

RESUMO

Esta dissertação de mestrado foi realizada na LIPOR – *Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto* e no ISEP - *Instituto Superior de Engenharia do Porto*, e teve como principal objetivo o estudo da valorização dos efluentes do tratamento de resíduos orgânicos.

Para atingir os objetivos propostos, inicialmente foi feito o enquadramento legal seguido da análise dos processos de valorização utilizados pela LIPOR, de modo a identificar os potenciais locais e modos de geração dos lixiviados, bem como as potenciais alternativas existentes para os tratar.

Seguiu-se a recolha de amostra na LIPOR do parque de verdes e do *Nutrormais*, que foi lixiviado em água durante 24 horas, guardando-se este lixiviado. As amostras recolhidas foram caracterizadas, incluindo os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, condutividade, dureza, concentração de CQO, CBO₅, fósforo total, potássio, azoto total, azoto amoniacal e de nitratos. Após filtração a vácuo das amostras, foram novamente avaliados os parâmetros acima referidos no filtrado.

A eficiência de remoção tanto no parque dos verdes como no *Nutrormais*, por filtração foi de 39,0% e 17,2%, respetivamente, para a CQO, 59,8% e 52,8%, para a CBO₅, 30,0% e 9,3% para o fósforo total, 10,0% e 12,5%, para o potássio, 8,0% e 8,6%, para o azoto total, 15,5% e 5,0%, para o azoto amoniacal e 4,2% e 15,4%, para os nitratos. Nas amostras as concentrações obtidas de azoto e fósforo foram respetivamente de 0,461 g/L e 0,0191 g/L na amostra filtrada do parque dos verdes e 0,213 g/L e 0,0049 g/L no *Nutrormais* filtrado. Relativamente ao potássio, este apresentou concentrações de 1.8 g/L no parque dos verdes filtrado e 1,4 g/L no extrato de *Nutrormais* filtrado.

Assim, o processo de filtração utilizado demonstrou ser insuficiente para permitir a descarga do lixiviado do parque dos verdes filtrado no meio hídrico.

Relativamente à aplicabilidade dos lixiviados estudados como biofertilizante, verificou-se, por comparação com um biofertilizante líquido já utilizado, que os mesmos mostram uma carência de nutrientes indispensáveis, no entanto, estas águas lixiviadas poderão ser aproveitadas como complemento para a elaboração de biofertilizantes ou como fonte de nutrientes para a produção de microalgas.

KEYWORDS

Biofertilizers; nutrient removal; leachate treatment; effluents valorisation

ABSTRACT

This master's thesis was carried out at LIPOR- *Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto* and at ISEP - *Instituto Superior de Engenharia do Porto*, and had as main objective the study of the valorisation of effluents from the treatment of organic waste.

In order to achieve the proposed objectives, the legal framework was initially followed by the analysis of the valuation processes used by LIPOR, in order to identify the potential locations and ways of generating leachate, as well as the potential alternatives to treat them.

This was followed by the collection of samples from LIPOR from the park of greens and *Nutrimais*, which was leached in water for 24 hours, keeping this leachate. The samples collected were characterized, including the following physical-chemical parameters: pH, conductivity, alkalinity, COD concentration, CBO₅, total phosphorus, potassium, total nitrogen, ammonia, and nitrate nitrogen. After vacuum filtration of the samples, the above parameters in the filtrate were again evaluated.

The removal efficiency in both park of greens and *Nutrimais*, after filtration, was 39% and 17.2% respectively, for COD, 59.8% and 52.8%, for BOD₅, 30.0% and 9.3%, for total phosphorus, 10.0% and 12.5%, for potassium, 8.0% and 8.6%, for total nitrogen, 15.5% and 5.0% for ammonia nitrogen, and 4.2% and 15.4%, for nitrates. In the samples, the concentrations obtained of nitrogen and phosphorus were respectively 0.461 g / L and 0.0191 g / L in the filtered sample of the park of greens and 0.213 g / L and 0.0049 g / L in the filtered *Nutrimais*. Regarding potassium, it showed concentrations of 1.8 g / L in the filtered park of greens and 1.4 g / L in the filtered *Nutrimais* extract.

Thus, the filtration process used proved to be insufficient to allow the discharge of the leached of the filtered park of greens into the water medium.

Regarding the applicability of the leachate studied, it was found, by comparison with a liquid biofertilizer already used, that they showed a lack of essential nutrients; however, these leachate waters can be used as a complement for the preparation of biofertilizers or as a source of nutrients for microalgae production.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

Termo	Designação
CBO ₅	Carência bioquímica de oxigénio ao fim de cinco dias (mg/L O ₂)
CCDR	Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional
CQO	Carência química de oxigénio (mg/L O ₂)
CVE	Central de Valorização Energética
CVM	Central de Valorização Multimaterial
CVO	Central de Valorização Orgânica
EC	Economia Circular
ECL	Entidade Coordenadora de Licenciamento
EPI	Filtro de areia com ventilação forçada
ETAL	Estação de Tratamento de Águas Lixiviadas
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
GEE	Gases do Efeito de Estufa
INR	Instituto Nacional de Resíduos
PERSU	Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos
PV	Parque dos verdes
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RVC	Plataforma de resíduos verdes de cemitério
UIDI	Unidade de Investigação, Desenvolvimento e Inovação
VLE	Valores Limite de Emissão

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - UNIDADES DA LIPOR [6]	2
FIGURA 2 - ORGANOGRAMA LIPOR [6]	3
FIGURA 3 - PROCESSO DE COMPOSTAGEM [6]	11
FIGURA 4 - DIGESTOR ANAERÓBIO [13]	12
FIGURA 5 - PROCESSO DA DIGESTÃO ANAERÓBIA [15]	13
FIGURA 6 - PROCESSOS DE TRATAMENTO NAS ETAL EM PORTUGAL [26]	18
FIGURA 7 - POLO I DA LIPOR EM BAGUIM DO MONTE	25
FIGURA 8 - POLO II DA LIPOR EM MOREIRA DA MAIA	26
FIGURA 9 - PROCESSO DE TRATAMENTO DA ETAL DA LIPOR [35]	27
FIGURA 10 - UNIDADE NOVA DE TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DA LIPOR	28
FIGURA 11 - SISTEMA DE FILTRAÇÃO POR VÁCUO [36]	29
FIGURA 12 - MEDIDOR DE PH E DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	29
FIGURA 13 - TITULAÇÃO	30
FIGURA 14 - DIGESTOR DE CQO	31
FIGURA 15 - ESPECTROFOTÓMETRO	31
FIGURA 17 - SISTEMA OXITOP	31
FIGURA 16 - NAOH GRANULADO	31
FIGURA 18 - DIGESTÃO EM PLACA DE AQUECIMENTO	32
FIGURA 19 - ESPECTROFOTÓMETRO UV-VIS	32
FIGURA 20 - FOTÓMETRO DE CHAMA	33
FIGURA 21 - REATOR PARA DIGESTÃO DE N	33
FIGURA 22 - APARELHO DE DESTILAÇÃO DE N KJELDAHL	34
FIGURA 23 - REAGENTE NITRAVER 5	34

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - VLE COLETOR [8]	8
TABELA 2 - VLE PARA DESCARGAS [7]	10
TABELA 3 - FATORES QUE AFETAM OS LIXIVIADOS [18]	14
TABELA 4 - PROCESSOS BIOLÓGICOS PARA O TRATAMENTO DE LIXIVIADOS [22]	15
TABELA 5 - PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS PARA O TRATAMENTO DOS LIXIVIADOS [22]	15
TABELA 6 - CADEIA DE TRATAMENTOS UTILIZADOS EM PORTUGAL [29]	18
TABELA 7 - TRATAMENTOS E DESTINOS FINAIS UTILIZADOS EM ETAL DE PORTUGAL [28]	19
TABELA 8 - GRAU DE DUREZA	30
TABELA 9 - PH E CONDUTIVIDADE DAS AMOSTRAS	37
TABELA 10 - DUREZA DAS AMOSTRAS	37
TABELA 11 - CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DAS AMOSTRAS	38
TABELA 12 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL E POTÁSSIO NAS AMOSTRAS	38
TABELA 13 - CONCENTRAÇÃO DE AZOTO TOTAL E AMONIACAL NAS AMOSTRAS	39
TABELA 14 - CONCENTRAÇÃO DE NITRATOS NAS AMOSTRAS	39
TABELA 15 - COMPARAÇÃO ENTRE AMOSTRAS E BIOFERTILIZANTE [39]	40

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS.....	1
1.2	ENTIDADE DE ACOLHIMENTO	2
1.3	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	ENQUADRAMENTO LEGAL	7
2.2	PROCESSOS BIOLÓGICOS	11
2.2.1	Compostagem	11
2.2.1.1	Digestão aeróbia.....	11
2.2.1.2	Digestão anaeróbia.....	12
2.3	FORMAÇÃO DE LIXIVIADOS.....	13
2.4	FORMAS DE TRATAMENTOS DE LIXIVIADOS.....	14
2.4.1	Tratamento biológico	14
2.4.2	Tratamento físico-químico	15
2.4.3	Tratamento eletroquímico	16
2.4.3.1	Eletrocoagulação	16
2.4.3.2	Oxidação eletroquímica	17
2.4.4	Transferência de lixiviado.....	17
2.5	SISTEMAS DE TRATAMENTO EM PORTUGAL E NA EUROPA.....	17
2.6	BIOFERTILIZANTES.....	20
2.7	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS ETAR.....	20
3	DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	25
3.1	GESTÃO DE RESÍDUOS NA LIPOR.....	25
3.2	LIXIVIADO VERDE DA LIPOR	27
3.2.1	TRATAMENTO DO LIXIVIADO NA LIPOR	27
3.3	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.3.1	RECOLHA DAS AMOSTRAS.....	28
3.3.2	FILTRAÇÃO DOS LIXIVIADOS	28

3.3.3	PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS.....	29
3.3.3.1	Condutividade e pH.....	29
3.3.3.2	Dureza Total.....	29
3.3.3.3	Carência Química de Oxigénio.....	30
3.3.3.4	Carência Bioquímica de Oxigénio.....	31
3.3.3.5	Fósforo Total.....	31
3.3.3.6	Potássio.....	32
3.3.3.7	Azoto Total.....	33
3.3.3.8	Azoto Amoniacal.....	34
3.3.3.9	Nitratos.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1	CONDUTIVIDADE E pH.....	37
4.2	DUREZA.....	37
4.3	CQO E CBO ₅	38
4.4	FÓSFORO TOTAL E POTÁSSIO.....	38
4.5	AZOTO TOTAL E AMONICAL.....	39
4.6	NITRATOS.....	39
4.7	APLICABILIDADE DOS LIXIVIADOS.....	40
5	CONCLUSÕES.....	45
5.1	CONCLUSÕES.....	45
5.2	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	46
6	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	49
7	ANEXOS.....	55
7.1	ANEXO 1.....	55
7.1.1	Dureza.....	55
7.1.2	CQO.....	55
7.1.3	CBO ₅	56
7.1.4	Fosforo.....	56
7.1.5	Azoto Total.....	57
7.1.6	Azoto Amoniacal.....	57

INTRODUÇÃO

- 1.1 ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS
- 1.2 ENTIDADE DE ACOLHIMENTO
- 1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

O desenvolvimento resultou numa maior produção de resíduos e, como é natural, com o passar do tempo a tendência é a de estes aumentarem cada vez mais, devido a uma sociedade excessivamente consumista. Com o avançar dos anos surgem cada vez mais materiais menos biodegradáveis, como materiais artificiais cuja eliminação é de extrema dificuldade.

A atividade humana produz os mais diversos resíduos e como tal estes necessitam de ser bem geridos caso contrário estes constituem fontes de contaminação e de risco para a saúde pública e para o meio ambiente [1].

Tudo mudou em 1996 quando foi publicado o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) onde foi então estabelecida uma nova política de gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Foi decidida a erradicação/encerramento das lixeiras, a construção de novas infraestruturas eficazes e controladas (aterros sanitários) e a recolha seletiva de resíduos.

Embora a deposição de resíduos em aterro possa ser uma medida economicamente viável e muito utilizada, esta não valoriza o resíduo nem os subprodutos. Para além disso a sustentabilidade ambiental é raramente tida em conta [2].

Atualmente cada vez é mais importante recorrer a um modelo económico circular, isto é, perante a escassez de recursos e o crescimento exponencial de população é essencial ter presente o “mindset” de redução, reutilização, recuperação e reciclagem. A economia circular pretende que os recursos, principalmente os renováveis e os recicláveis sejam valorizados. Para Portugal, o surgimento da EC é um grande desafio, mas também uma grande oportunidade, os quais, baseados num ponto de vista estratégico de inovação e investigação potenciam a sustentabilidade para a próxima década.

Os resíduos assumiram-se, portanto, como uma prioridade política nacional e europeia devido ao seu valor ambiental, económico e social levando a que haja uma gestão mais inteligente dos recursos naturais, redução dos impactos ambientais e criação de novas ideias de negócio [3, 4, 5].

Com este enquadramento, neste trabalho pretende-se realizar um estudo para a estabilização e valorização de efluentes do tratamento de resíduos orgânicos produzidos na LIPOR. Estabeleceram-se os seguintes objetivos:

- Valorização dos lixiviados resultantes dos processos de gestão de resíduos orgânicos;
- Estabilização microbiológica do material com recurso a métodos energeticamente eficientes.

1.2 ENTIDADE DE ACOLHIMENTO

A LIPOR, Serviço Intermunicipalizado de Tratamento de Lixo da Região do Porto foi constituída em 1982 como uma associação de Municípios que é responsável pela gestão, valorização e tratamento de resíduos dos municípios de Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Valongo e Vila do Conde, como é possível observar na Figura 1 [6].

A LIPOR desenvolveu uma estratégia integrada de valorização, tratamento e confinamento dos RSU, baseada em três unidades principais com diferentes fins – uma central de valorização multimaterial ou central de triagem, uma central de valorização orgânica e uma central de valorização energética CVM, CVO, CVE respetivamente, possui ainda um Aterro Sanitário para a receção dos rejeitados e de resíduos previamente preparados, estando representado na Figura 1 [6].

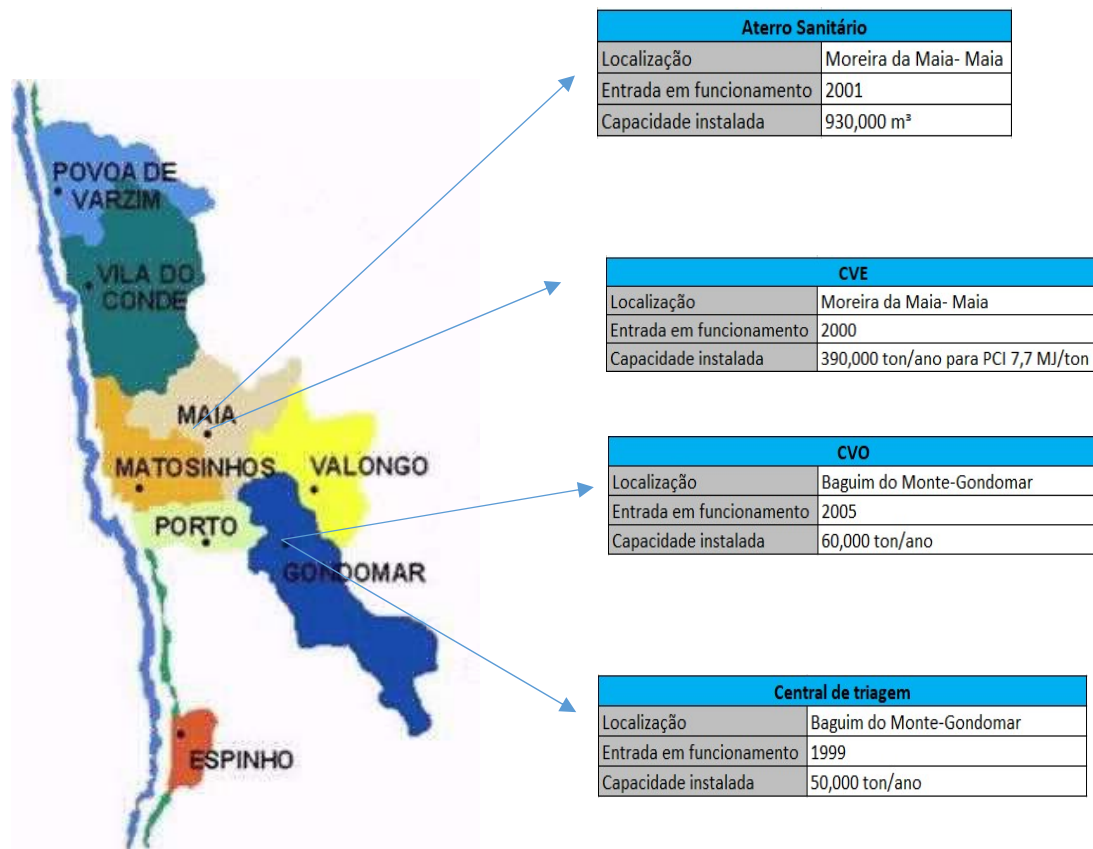


Figura 1 - Unidades da LIPOR [6]

A LIPOR é uma empresa que investe num futuro com melhor qualidade de vida. Ao longo dos anos tem vindo a desenvolver, em parceria com inúmeras entidades nacionais e internacionais, projetos na área de gestão de resíduo, assim como na procura de soluções inovadoras na gestão de recursos e na sua valorização. Para o efeito criou a

Unidade de Investigação, Desenvolvimento e Inovação (UIDI) (Figuras 2). Esta unidade tem como principal objetivo a transformação de resíduos em recursos e recursos em produtos contribuindo diretamente para a economia circular.

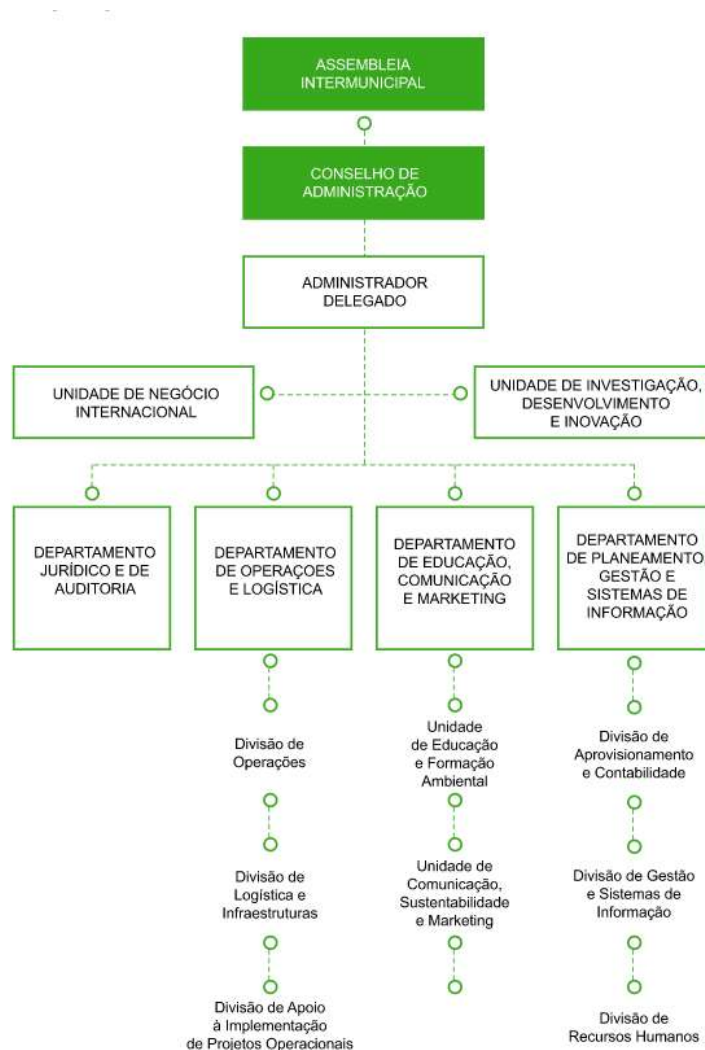


Figura 2 - Organograma LIPOR [6]

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se organizada em 5 capítulos. No primeiro capítulo foi feita uma breve introdução ao problema dos resíduos e dos lixiviados deles produzidos, seguindo-se uma breve apresentação da entidade de acolhimento e finalmente a descrição dos objetivos a atingir com a realização desta dissertação. O segundo capítulo aborda os aspetos legais desta temática, seguindo-se uma explicação sobre os processos estudados, a formação dos lixiviados e a forma como estes são tratados em Portugal e em outros países da União Europeia. O terceiro capítulo contempla a descrição do caso de estudo. Este capítulo refere-se à gestão de resíduos na Lipor, aos materiais e métodos

utilizados tanto em laboratório como na recolha das amostras. No quarto capítulo apresentam-se os resultados obtidos em laboratório, seguindo a discussão dos mesmos. Por fim, no quinto capítulo apresentam-se as conclusões finais e sugerem-se trabalhos futuros com o intuito de melhorar e continuar o estudo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 ENQUADRAMENTO LEGAL
- 2.2 PROCESSOS
- 2.3 FORMAÇÃO DE LIXIVIADOS
- 2.4 FORMAS DE TRATAMENTOS DE LIXIVIADOS
- 2.5 SISTEMAS DE TRATAMENTO EM PORTUGAL E NA EUROPA
- 2.6 BIOFERTILIZANTES

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo inicia-se com a apresentação do enquadramento legal aplicável ao setor da gestão de resíduos. Segue-se a descrição de alguns dos processos de valorização dos resíduos utilizados pela Lipor. A descrição continua com a formação dos lixiviados e dos fatores que os afetam, bem como uma análise às formas de tratamento dos lixiviados e a apresentação de um caso de estudo em Portugal e em alguns países europeus. Finalmente é introduzida uma breve explicação sobre o que são biofertilizantes e por último uma descrição sucinta do tratamento de lamas numa ETAR e o consumo energético associado.

2.1 ENQUADRAMENTO LEGAL

Os lixiviados são o líquido que resulta da percolação da água nos resíduos. A grande preocupação relativamente à sua gestão é a poluição dos meios hídricos e do solo envolvente; para mitigar tal efeito é então necessário que estes sejam tratados adequadamente. Para que estes possam ser descarregados em linha de água, solo ou numa rede coletora, necessitam de respeitar valores limite de emissão estipulados para alguns parâmetros.

O Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de agosto, determina as condições de descarga das águas residuais em águas superficiais e do litoral, no meio hídrico territorial, subterrâneo e no solo, assim como a descarga em coletores, tendo em vista melhorar ou manter a qualidade do meio aquático bem como proteger a saúde pública e os solos [7].

No que se refere à descarga em coletores municipais (Tabela 1) para futuro tratamento numa estação de tratamento de águas residuais (ETAR), esta deve respeitar as normas municipais implementadas para a respetiva receção de águas residuais na rede de coletores com a concordância da entidade coordenadora de licenciamento (ECL), as Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR), dado não existir um conjunto de regras comum a todas as autarquias.

Tabela 1 - VLE coletor [8]

Parâmetros	Expressão dos Resultados	VLE
pH	Escala de Sorensen	5.5-9.5
Temperatura	°C	30
Cor	Mg/l Pt/Co	45
CBO ₅ , 20 °C	mg/l O ₂	500
CQO	mg/l O ₂	100
SST	mg STT/l	1000
Azoto amoniacal	mg/l N	60
Azoto total	mg/l N	90
Cloretos	mg/l	1000
Coliformes fecais	NMP/ 100 ml	108
Condutividade	µS/cm	3000
Fósforo total	mg/l P	20
Óleos e gorduras	mg/l	100
Sulfatos	mg/l	1000
Aldeídos	mg/l	1
Alumínio Total	mg/l Al	10
Boro	mg/l B	1
Cianetos totais	mg/l CN	0.5
Cloro residual disponível total	mg/l Cl ²	1
Cobre total	mg/l Cu	1
Crômio hexavalente	mg/l Cr (VI)	0.1
Crômio total	mg/l Cr	2
Detergentes	mg/l	50
Estanho total	mg/l Sn	2
Fenóis	mg/l C ⁶ H ⁵ OH	0.5
Ferro total	mg/l Fe	2.5
Hidrocarbonetos totais	mg/l	15
Manganês total	mg/l Mn	2
Nitratos	mg/l NO ³	50
Nitritos	mg/l NO ²	10
Pesticidas	µg/l	3
Prata total	mg/l Ag	1.5
Selênio total	mg/l Se	0.05
Sulfuretos	mg/l S	0.5
Vanádio total	mg/l Va	10
Zinco total	mg/l Zn	5.0
Arsênio	mg/l	1

As normas obrigatórias de descarga contempladas no Decreto-Lei nº 236/98 implicam um procedimento onde se estabelecem Valores Limite de Emissão (VLE) (Tabela 2) que deverão ser verificados na descarga das águas residuais na água e no solo, tendo como objetivo evitar níveis de poluição excessivos [9].

Tabela 2 - VLE para descargas [7]

Parâmetros	Expressão dos Resultados	VLE
pH	Escala de Sorensen	6.9-9.0
Temperatura	°C	Aumento de 3 °C
CBO ₅ , 20 °C	mg/l O ₂	40
CQO	mg/l O ₂	150
SST	mg/l	69
Alumínio	mg/l Al	10
Ferro Total	mg/l Fe	2
Manganês total	mg/l Mn	2
Cheiro	-	Não detetável na diluição 1:20
Cor	-	Não visível na diluição 1:20
Cloro Residual disponível		
Livre	mg/l Cl ₂	0.5
Total	mg/l Cl ₂	1.0
Fenóis	mg/l C ₆ H ₅ OH	0.5
Óleos e gorduras	mg/l	15
Sulfuretos	mg/l S	1
Sulfitos	mg/l SO ₃	1
Sulfatos	mg/l SO ₄	2000
Fósforo Total	mg/l P	10 3 (em águas que alimentem lagoas ou albufeiras) 0.5 (em lagoas ou albufeiras)
Azoto Amoniacal	mg/l NH ₄	10
Azoto Total	mg/l N	15
Nitratos	mg/l NO ₃	50
Aldeídos	mg/l	1
Arsénio total	mg/l As	1
Chumbo total	mg/l Pb	1
Cádmio total	mg/l Cd	0.2
Crómio total	mg/l Cr	2
Crómio total	mg/l Cr (VI)	0.1
Cobre total	mg/l Cu	1
Níquel total	mg/l Ni	2
Mercúrio total	mg/l Hg	0.05
Cianetos totais	mg/l CN	0.5
Óleos minerais	mg/l	15
Detergentes (sulfato de laurel e sódio)	mg/l	2.0

2.2 PROCESSOS BIOLÓGICOS

Existem dois tipos de processos de conversão biológica da matéria orgânica biodegradável: a conversão aeróbia (compostagem) e a digestão anaeróbia. Em ambos os processos são usados os microrganismos que se alimentam de matéria orgânica, tal como matérias vegetais, estrume e outros resíduos orgânicos.

2.2.1 Compostagem

Este processo ocorre quando a matéria orgânica é decomposta na presença de oxigénio. A compostagem (Figura 3) é um processo de tratamento/estabilização biológica de matéria orgânica biodegradável. O material orgânico, por ação dos microrganismos, é convertido em material estável, denominado “composto”, que posteriormente é aplicado como corretivo orgânico de solos e nas preparações de substratos para as culturas. A chamada compostagem é um processo que o homem tem tentado controlar e utilizar como um processo de valorização/recuperação de matéria orgânica [10].

Este composto orgânico quando introduzido no solo permite recuperar solos erodidos e solos salinos, promove a sustentabilidade dos solos, melhora a retenção da água nos solos arenoso, aumenta a porosidade dos solos argilosos, melhora as estruturas físicas dos solos entre outras utilidades [11, 12].

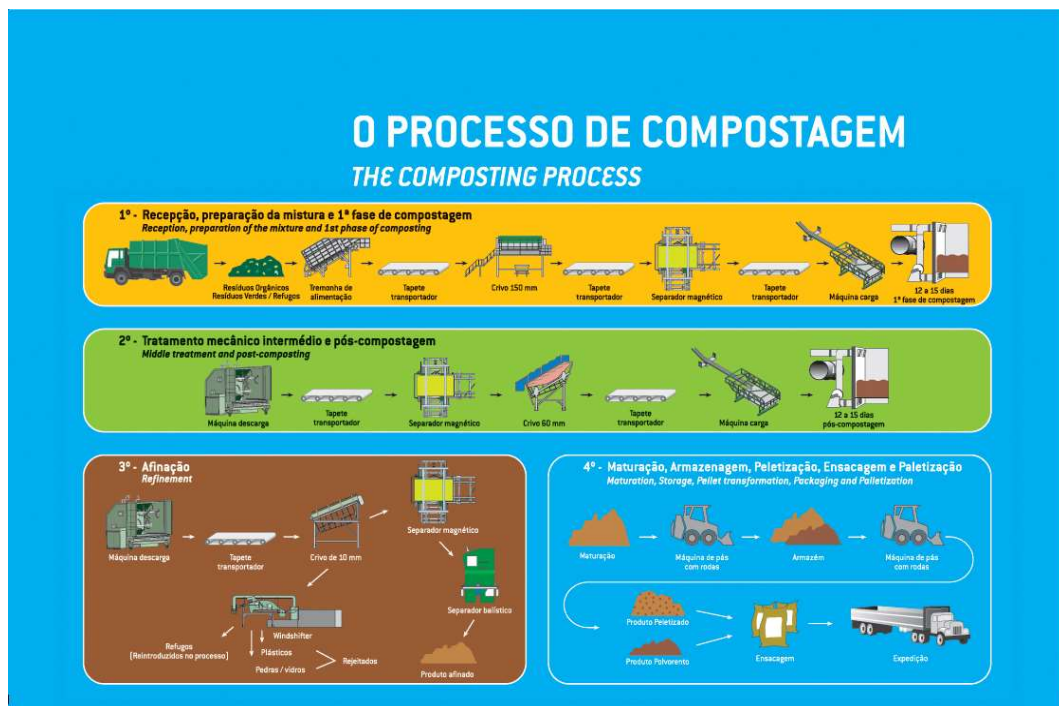


Figura 3 - Processo de Compostagem [6]

2.2.1.1 Digestão aeróbia

Os organismos consomem oxigénio e alimentam-se de matéria orgânica desenvolvendo o citosol (líquido que preenche o interior do citoplasma) a partir do azoto, do carbono e

de outros nutrientes necessários. A maioria do carbono existente serve como fonte de energia para os organismos e é respirado sob a forma de dióxido de carbono. Por norma, 2/3 deste carbono é fundamental para formar dióxido de carbono, e o restante é utilizado juntamente com o azoto nas células, ou seja, no início da digestão a razão C/N da mistura deverá estar compreendida entre 25/1 a 40/1. Ao longo do processo esta vai diminuindo pelo facto da matéria orgânica sofrer oxidação com libertação do CO₂ até alcançar valores entre 10/1 e 20/1. No caso de haver um excedente de carbono, no rácio carbono/azoto, na decomposição do material orgânico a atividade biológica diminui, sendo indispensáveis mais ciclos de organismos para consumir o excesso de carbono. Quando se dá a morte de alguns dos microrganismos, o azoto e o carbono neles armazenado fica disponível. A utilização deste azoto pelos novos organismos para a formação de novo material celular requer a utilização do carbono em excesso para formar dióxido de carbono. Assim sendo, a quantidade nova de carbono é necessária enquanto que o azoto é reciclado. Finalmente quando a proporção carbono/azoto disponível é suficientemente baixa, o azoto é libertado sob a forma de amoníaco. Algum deste amoníaco, em condições favoráveis, poderá ser oxidado e transformado em nitratos. Nos materiais compostáveis, o fósforo, o potássio e alguns micronutrientes, essenciais para o crescimento biológico, devem estar presentes em quantidades suficientes [10].

2.2.1.2 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo biológico em que, na presença de diversas populações de microrganismos e na ausência de oxigénio, a matéria orgânica se decompõe. Este processo pode ocorrer naturalmente ou então por imposição humana, quando estes recriam precisamente o mesmo ambiente, construindo digestores anaeróbios (Figura 4).

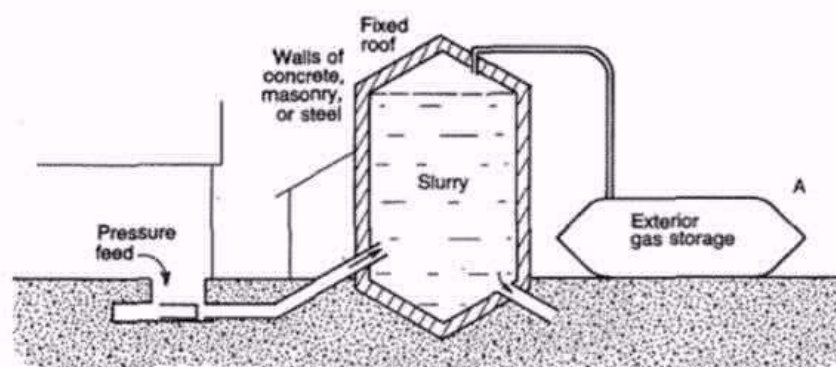


Figura 4 - Digestor anaeróbio [13]

O processo divide-se em quatro etapas principais: hidrólise, acidogénese, acetogénese e a metanogénese (Figura 5). A hidrólise é a primeira etapa da digestão anaeróbia onde os biopolímeros (proteínas, hidratos de carbono e lípidos) são hidrolisados a monómeros (aminoácidos, açúcares e ácidos gordos) por ação de enzimas extracelulares segregadas pelas bactérias hidrolíticas. Trata-se de um processo demorado onde, por

norma, os lípidos são hidrolisados mais lentamente, comparativamente às outras macromoléculas. Na segunda fase, a acidogénese, os monómeros são conduzidos através da membrana para o interior da célula, onde são posteriormente degradados a ácidos orgânicos (ácido acético, butírico e propiónico), álcoois, óxidos de azoto, sulfureto de hidrogénio, hidrogénio e dióxido de carbono. O passo seguinte é a acetogénese, na qual os produtos provenientes da etapa anterior são transformados em acetato, dióxido de carbono e hidrogénio por bactérias acetogénicas. Estas reações são endotérmicas ($\Delta H > 0$) como é o caso da digestão de ácido propiónico a acetato e dióxido de carbono. Por último, na fase da metanogénese que ocorre em condições estritamente anaeróbias, o carbono presente na biomassa é transformado em dióxido de carbono e metano através da ação de bactérias metanogénicas. Estas reações são exotérmicas ($\Delta H < 0$). A finalidade desta digestão é a produção de metano, dióxido de carbono e ácido sulfídrico (biogás) [14, 15, 16, 17].

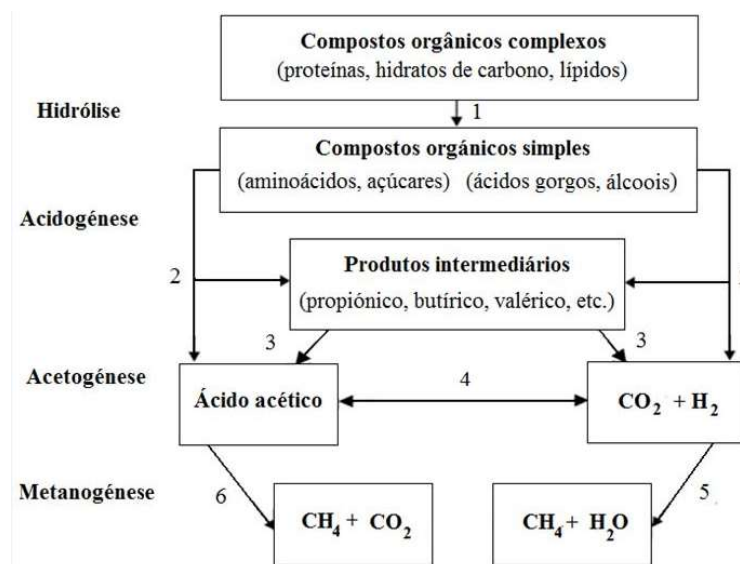


Figura 5 - Processo da digestão anaeróbia [15]

2.3 FORMAÇÃO DE LIXIVIADOS

O lixiviado é formado a partir da percolação da água através dos resíduos. Esta percolação ocorre devido à precipitação e à humidade presente no próprio resíduo, que leva a uma remoção dos compostos orgânicos e inorgânicos solúveis, à sua dissolução e suspensão no líquido. Para que exista lixiviado é necessário que ocorra um processo bioquímico nos resíduos, pois os subprodutos deste processo contribuem para a concentração de elementos no lixiviado. A composição do lixiviado varia consoante vários fatores, conforme descrito na Tabela 3 [18].

Tabela 3 - Fatores que afetam os lixiviados [18]

Tipo	Fator
Clima e hidrogeologia	Precipitação, degelo e introdução de águas adjacentes
Condições locais e operacionais	Pré-Tratamento dos resíduos, compactação, vegetação
Características dos resíduos	Permeabilidade, idade, tamanho das partículas, densidade, teor inicial de humidade
Processos internos	Sedimentação do resíduo, decomposição do material orgânico, geração e transporte de gás e calor

Estes efluentes líquidos normalmente tem um cheiro nauseabundo, cor escura e uma carga orgânica e inorgânica elevada. Uma das suas características é uma solução aquosa onde estão presentes quatro grupos de poluentes [19]:

- Matéria orgânica dissolvida (ácidos gordos voláteis e substâncias húmicas)
- Elementos inorgânicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} e HCO_3^-)
- Metais pesados (Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+})
- Compostos orgânicos xenobióticos (hidrocarbonetos aromáticos, fenóis, pesticidas, ...)

2.4 FORMAS DE TRATAMENTOS DE LIXIVIADOS

Para reduzir o impacto ambiental por parte dos lixiviados é essencial que estes sejam submetidos a tratamentos. Estes tratamentos devem ter em conta o tipo de descarga disponível, a rede de drenagem municipal ou linha de água. Idealmente, o tratamento dos lixiviados deverá ser feito no local e no que diz respeito à qualidade do efluente tratado, deverá respeitar as normas estabelecidas na legislação que vigora. Existem, portanto, quatro categorias de tratamento: Biológicos, Físico-químicos, eletroquímicos e transferência de lixiviado [20].

2.4.1 Tratamento biológico

Trata-se de um tratamento realizado por microrganismos ou por plantas, de grande fiabilidade, simples e boa relação custo-benefício. Por norma este é o tipo de processo mais utilizado para o tratamento de lixiviados com elevadas concentrações de material biodegradável. A função dos microrganismos é biodegradar a matéria sendo que os produtos que daí advém dependem se se trata de um ambiente aeróbio ou anaeróbio. Porém, alguns microrganismos estão limitados no que diz respeito à degradação de alguns compostos orgânicos dado que as variações de pH ou da concentração de poluentes podem impossibilitar o seu metabolismo [21, 22].

Na Tabela 4 apresentam-se resumidamente os processos de tratamento de lixiviados mais comuns, assim como a sua aplicação.

Tabela 4 - Processos biológicos para o tratamento de lixiviados [22]

Processo de Tratamento	Aplicação
Lamas ativadas	Remoção de matéria orgânica
Fitorremediação (Plantas, FitoETAR)	Remoção de matéria orgânica, nutrientes, metais pesados e matéria sólida
Reator descontínuo sequencial	Remoção de matéria orgânica
Lagoas arejadas	Remoção de matéria orgânica
Biodiscos e leitos percoladores	Remoção de matéria orgânica
Digestão anaeróbia	Remoção de matéria orgânica
Nitrificação/Desnitrificação	Remoção de azoto

2.4.2 Tratamento físico-químico

Os métodos físico-químicos (Tabela 5) são utilizados juntamente com os métodos biológicos com o intuito de melhorar a eficiência do tratamento dos lixiviados, este tratamento é essencial para a redução da carga poluente deste tipo de efluentes. Com este tipo de procedimentos podemos remover os sólidos suspensos, sólidos coloidais, compostos tóxicos e soluções que contribuam para a turvação. Regra geral, este tratamento é aplicado para remover os materiais não biodegradáveis e os compostos não desejados nos lixiviados tais como metais pesados e haletos orgânicos (AOXs). No entanto, este tipo de tratamento tem o inconveniente de um consumo excessivo de energia elétrica no que se refere aos equipamentos utilizados [22,23].

Tabela 5 - Processos Físico-químicos para o tratamento dos lixiviados [22]

Processo de tratamento	Aplicação	Observações
Processos Químicos		
Precipitação química	Remoção de metais e aniões	Produção de lamas, que possivelmente necessitam de ser depositadas como resíduo perigoso
Oxidação química	Remoção de matéria orgânica e descontaminação de algumas espécies inorgânicas	Funciona melhor em fluxos de resíduos diluídos, o uso de cloro pode formar de hidrocarbonetos clorados

Processo de tratamento	Aplicação	Observações
Processo físicos		
Sedimentação/Flotação	Remoção da matéria em suspensão	Pouco utilizado como processo único e mais como processo complementar.
Membrana	Remoção dos sais e iões (após filtrações)	-
<i>Air stripping</i>	Remoção do amoníaco ou compostos orgânicos voláteis	Possível necessidade de tratamento da fase gasosa
Troca iónica	Remoção de compostos inorgânicos dissolvidos	Útil apenas como tratamento de afinação
Coagulação/Floculação	Remoção de matéria em suspensão	Necessidade de tratamento das lamas remanescentes do processo
Adsorção	Remoção de compostos orgânicos recalcitrantes	Sucessiva necessidade de regeneração de colunas

2.4.3 Tratamento eletroquímico

Os métodos eletroquímicos são uma boa alternativa aos métodos convencionais, uma vez que o período de tratamento é mais curto, não necessitam da utilização de produtos químicos e formam um menor volume de lamas, tornando-se menos prejudiciais ao ambiente. Estes métodos são aplicados em tratamento de efluentes que contém matéria orgânica pouco biodegradável e alta toxicidade [24]. Este tipo de tratamento é bastante vantajoso, uma vez que é compatível com o ambiente, versátil, energeticamente eficiente, seguro, seletivo, de fácil automação e tem uma boa relação custo-benefício [25]. Os métodos mais importantes para o tratamento dos lixiviados são [26]:

- Eletrocoagulação;
- Oxidação eletroquímica

2.4.3.1 Eletrocoagulação

A eletrocoagulação fundamenta-se no fenómeno em que as partículas carregadas em suspensão coloidal são neutralizadas por colisões entre iões de hidróxidos metálicos e aglomerados, ficando posteriormente sedimentadas ou a flutuar. Este processo cria flocos de hidróxido metálico através da eletrodissolução do Ferro e do Alumínio. Os aspetos mais importantes que influenciam a eletrocoagulação são, os materiais do eléctrodo, o pH da solução, a densidade de corrente e a temperatura. As desvantagens da utilização deste método são, a perda de atividade do ânodo, devido a deposição de lamas nos eléctrodos e as altas concentrações de Ferro e Alumínio presentes no efluente que à posteriori deverão ser removidas [22].

2.4.3.2 Oxidação eletroquímica

A oxidação eletroquímica modifica, degrada ou mineraliza compostos orgânicos através da transferência de elétrons. Neste processo os radicais hidroxilo podem ser estabelecidos de forma direta (oxidação anódica), ou seja, os radicais são gerados de forma heterogénea através de uma descarga no ânodo diretamente na água, ou então de forma indireta, a partir da geração do reagente de Fenton que consiste na formação de radicais hidroxilo de forma homogénea na reação de Fenton. Este processo é considerado promissor no que diz respeito à remoção de poluentes, uma vez que tem uma elevada taxa de sucesso, relativo baixo custo e mantém o meio ambiente menos poluído pela não utilização de produtos químicos [27].

2.4.4 Transferência de lixiviado

Este processo consiste no transporte do lixiviado para outra área dentro ou fora do aterro. Este tratamento pode ser efetuado de duas formas:

- A recirculação do lixiviado é uma técnica com alguns benefícios. Consiste no deslocamento do lixiviado para o aglomerado dos resíduos depositados. Com o aumento da recirculação de lixiviados aumenta-se o teor de humidade, possibilita-se uma distribuição de enzimas e nutrientes, aumenta-se a qualidade do lixiviado e ainda diminui o tempo de estabilização para 2-3 anos, invés de décadas. Todavia, esta recirculação de lixiviado em grande quantidade pode ser negativa para a degradação anaeróbia, podendo inibir a metanogénese.
- O tratamento combinado com o esgoto doméstico era um processo muito utilizado, devido à sua fácil manutenção e ao baixo custo de operação. Esta técnica foi posta em causa uma vez que, devido à presença de compostos orgânicos com baixa biodegradabilidade, e à existência de metais pesados no lixiviado, a eficácia do tratamento pode ser comprometida e a concentração do efluente pode aumentar [20].

2.5 SISTEMAS DE TRATAMENTO EM PORTUGAL E NA EUROPA

Segundo um estudo pedido pelo Instituto Nacional de Resíduos (INR) em 2008, verificou-se que a nível nacional, no que diz respeito ao destino dos lixiviados tratados, 50% das instalações existentes descarregava o efluente em linha de água, aproximadamente 36% descarregava em ETAR municipal e 8% tinha a possibilidade de descarregar tanto em linha de água como em ETAR municipal. Na Tabela 6 podemos observar as cadeias de tratamento implementadas nas estações de tratamento de águas lixiviadas (ETAL) existentes em Portugal nessa data [28].

Tabela 6 - Cadeia de tratamentos utilizados em Portugal [29]

Sequências de tratamentos de lixiviados em operação
Lagoa de Regularização + Osmose Inversa
Lamas Ativadas + Osmose Inversa
Lagoa de Arejamento + Decantador Lamelar + Osmose Inversa
Lagoa Arejada ou Anaeróbia + Osmose Inversa
Lagoa Anaeróbias + Osmose Inversa
Lamas Ativadas + Tratamento Físico-Químico
Tratamento Físico-químico + Lamas ativadas
Filtro EPI + Lamas Ativadas + Tratamento Físico-químico
Lagoa de Arejamento + Filtro EPI + Tratamento Físico-químico
Lagoa de Arejamento + Tratamento Físico-químico
Lagoa de Arejamento
Lagoa de Arejamento + Lagoa Macrófitas
Vala de Oxidação + Ligação ao Exutor

Conforme podemos verificar na Figuras 6, 35% das ETAL utilizam o processo de osmose inversa como tratamento secundário, 31% implementam o tratamento por lamas ativadas e tratamento físico-químico e 14% das ETAL descarregam em coletor municipal [29].

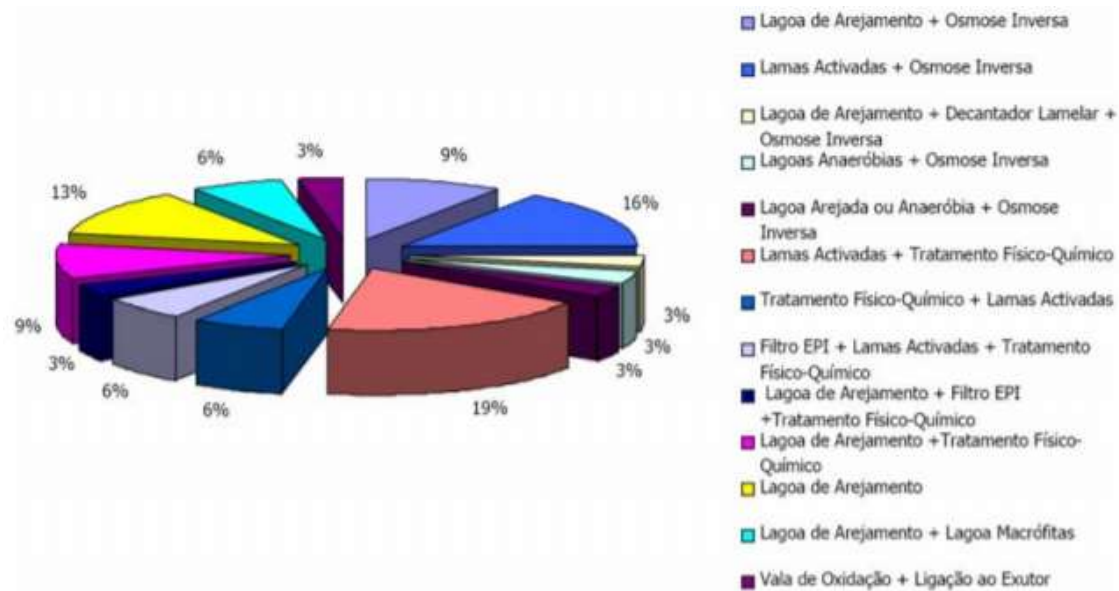


Figura 6 - Processos de tratamento nas ETAL em Portugal [26]

Na Tabela 7 podemos observar os tratamentos e o destino final utilizados pelas estações de tratamento em Portugal.

Tabela 7 - Tratamentos e destinos finais utilizados em ETAL de Portugal [28]

ETAL	Tratamento	Destino final
RESIOESTE		
ALGAR (Barlavento)	Lagoa de Arejamento + Osmose Inversa	
ALGAR (Sotavento)		
Cova da Beira		Linha de água
Raia/Pinhal		
Planalto Beirão	Lamas Ativadas + Osmose Inversa	
LIPOR II		
REBAT		
SULDOURO	Lagoa de Arejamento + Decantador Lamelar + Osmose Inversa	ETAR + Linha de água
RESIDOURO	Lagoa Arejada ou Anaeróbia + Osmose Inversa	
AM. Distrito de Évora	Lagoas Anaeróbias + Osmose Inversa	Linha de água
VALSOUSA (Lousada)		
RESULIMA		ETAR
VALORMINHO		Linha de água
ERSUC- Mondego	Lamas Ativadas + Tratamento Físico-Químico	ETAR
VALNOR		Linha de água
SULDOURO		ETAR + Linha de água
RESIURB		
RESAT	Tratamento Físico-químico + Lamas Ativadas	Linha de água
BRAVAL	Filtro EPI + Lamas Ativadas + Tratamento Físico-	ETAR
AMALGA (Beja)	Químico	ETAR+ Linha de água
RESITEJO	Lagoa de Arejamento + Filtro EPI + Tratamento Físico-Químico	Inoperacional
Vale do Douro Norte		Linha de água
VALORSUL	Lagoa de Arejamento + Tratamento Físico-Químico	ETAR
ERSUC-Baixo Vouga		
AMARTEJO		Linha de água
AMAGRA (Grândola)		Descarga nula
AMARSUL (Palmela)	Lagoa de Arejamento	
VALSOUSA (Penafiel)		ETAR
AMCAL (Cuba)		Linha de água
VALORLIS	Lagoa de Arejamento + Lagoa Macrófitas	
AMTRES	Vala de Oxidação	
ERSUC- Baixo Mondego		
Amave (Santo Tirso)		ETAR
Amave (Gonça)	Descarga em ETAR municipal	
Terra Fria/Terra Quente/ Douro Superior		
AMARSUL (Seixal)		

O autor deste estudo visitou três estações de tratamento na Alemanha. Em duas delas o lixiviado era tratado por osmose inversa, sendo que o concentrado numa delas era tratado por um processo de evaporação. Na outra recorre-se a um tratamento biológica, com injeção de oxigênio puro, seguido de uma ultrafiltração e adsorção por carvão ativado onde por fim a descarga é feita no coletor municipal. O mesmo autor visitou ainda uma ETAL em França onde, recorrendo ao biogás como fonte de energia, o lixiviado é evaporado por torres sequenciais. Os gases resultantes são devidamente tratados e o concentrado depositado em aterro [28].

2.6 BIOFERTILIZANTES

O uso exagerado de fertilizantes sintéticos levou à poluição e contaminação do solo, poluição de aquíferos e prejudica gravemente microrganismos e insetos essenciais tornando assim o solo menos fértil e a agricultura mais propensa a doenças [30]. Os biofertilizantes, tal como o nome indica, são biológicos e tem vindo a ter cada vez mais um papel preponderante na agricultura biológica. Os biofertilizantes são definidos como uma preparação que contém células latentes, capazes de fixar o azoto, solubilizar o fosfato ou microrganismos produtores de celulose, para usar nas áreas de compostagem, ou no solo, com o objetivo de aumentar o número de microrganismos e acelerar o processo microbiano [31,32]. Os microrganismos presentes nos biofertilizantes têm a capacidade de restabelecer o ciclo natural de nutrientes no solo, acrescentar matéria orgânica e conseqüentemente promover a proliferação das raízes devido à libertação de hormonas promotoras de crescimento. Estes biofertilizantes ainda tem a capacidade de captar o azoto atmosférico e disponibilizá-lo para as plantas. As interações microbianas no solo e nas plantas enriquecem a agricultura e os ecossistemas, dado que são promotores da decomposição, mineralização e da disponibilidade de nutrientes contribuindo para a preservação da eficiência dos ciclos destes últimos, para a conservação da capacidade de troca catiónica, da acidez e toxicidade do solo bem como a aptidão do solo reter a água. A aplicação de biofertilizantes no solo é extremamente benéfica para estimular o crescimento da planta, ativar o solo biologicamente e para aumentar a fertilidade do mesmo mantendo o seu valor metabólico e nutricional intacto [33].

2.7 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS ETAR

No tratamento por lamas ativadas existem três processos que levam a um consumo energético excessivo tais como:

- Arejamento (dado a necessidade de fornecimento constante de oxigênio para o desenvolvimento dos microrganismos necessários no tratamento biológico aeróbio);

- Bombagem de água residual (dada a necessidade de transportar água residual para as diversas fases de tratamento);
- Digestão anaeróbia (dado ser essencial o aquecimento das lamas para o crescimento de microrganismos anaeróbios, embora este consumo de energia possa ser atenuado pela produção de biogás).

De forma a atingir um nível de eficiência energética elevado, é necessário considerar uma redução dos consumos energéticos, da emissão dos gases com efeito de estufa (GEE) e dos custos de funcionamento da estação. Para obtenção do êxito é necessária uma escolha ponderada de equipamentos e tecnologias, utilização de sistemas para recuperação de energia, combinado com uma gestão capaz de otimizar os custos. A obtenção deste objetivo traz benefícios económicos e ambientais, entre outros, tais como: a diminuição das emissões de GEE e da poluição atmosférica, redução dos custos associados aos gastos energéticos, tempo de vida útil dos equipamentos e infraestruturas incrementado, e ainda, uma maior proteção da saúde pública, através da melhoria da qualidade da água [34].

Nesse sentido, um tratamento simples dos lixiviados, que permita a sua utilização como fertilizante orgânico traduz-se numa maior valia, não só pela poupança energética associada ao tratamento prévio à descarga que é evitado, como pela reintrodução no solo de nutrientes dele extraídos anteriormente, aumentando a circularidade da agricultura e das atividades de silvicultura e florestação.

DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

- 3.1 GESTÃO DE RESÍDUOS NA LIPOR
- 3.2 LIXIVIADO VERDE DA LIPOR
- 3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

3 DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

3.1 GESTÃO DE RESÍDUOS NA LIPOR

A LIPOR- Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto, está dividido em 2 polos. O polo I situa-se em Gondomar, mais concretamente em Baguim do Monte e o polo II está situado em Moreira da Maia.

No polo I (Figura 7), em Baguim do Monte, localizam-se o Centro de Valorização Orgânica (CVO) e o Centro de Valorização Multimaterial (CVM).

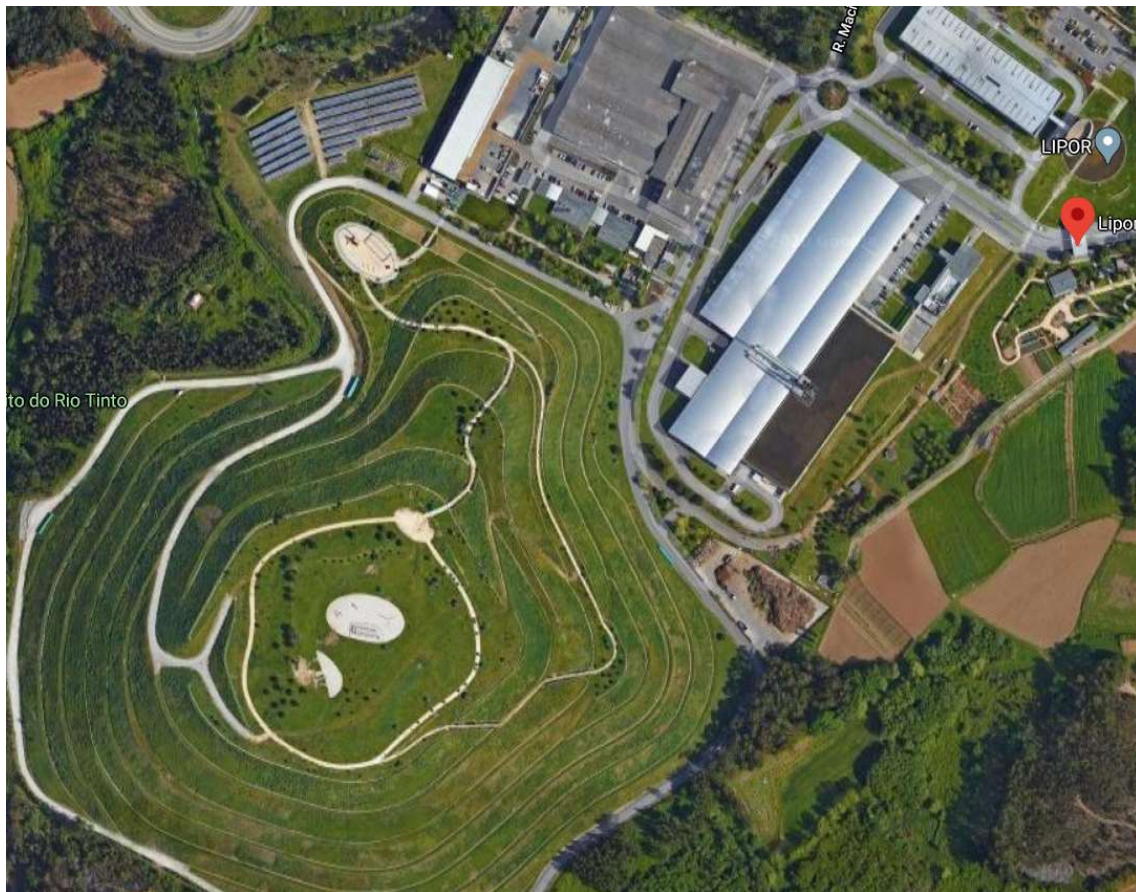


Figura 7 - Polo I da Lipor em Baguim do Monte

A CVO tem a capacidade de valorizar 60000 t/ano de resíduos alimentares e verdes (restos de jardinagem, sem terras ou outros contaminantes, e aparas de madeira sem tratamento), seleccionados criteriosamente (Biorresíduos). O processo de compostagem em túnel que esta central possui tem a capacidade de produzir cerca de 13000 t/ano de um corretivo orgânico comercializado pela LIPOR denominado *Nutrimais*. De modo a

complementar este centro existem duas instalações, o parque dos verdes (PV) para onde são encaminhados os resíduos resultantes da manutenção de jardins públicos e privados e a plataforma dos resíduos verdes de cemitérios (RVC), embora durante a realização deste trabalho devido a obras na RVC os resíduos verdes de cemitério foram agregados ao PV.

A CVM é um centro de triagem que tem capacidade de tratamento de cerca de 50000 t/ano. Esta central tem como objetivo fazer uma triagem mais cuidada dos materiais provenientes da recolha seletiva de RSU para posterior envio das mesmas para centros de reciclagem ou centros de valorização.

O *Parque Aventura* surge do projeto de selagem, recuperação e valorização ambiental do antigo aterro sanitário de Ermesinde/Baguim do Monte. Presentemente, esta zona é espaço lúdico, de lazer e formação totalmente aberto ao público.

Em Moreira da Maia, no polo II (Figura 8) situa-se a Central de Valorização Elétrica e o Confinamento Técnico (Aterro). Os resíduos que não podem ser aproveitados para a compostagem ou reciclagem são reencaminhados para a CVE; aqui estes resíduos são transformados em energia a partir de um processo de queima controlada que produz vapor de água que vai gerir eletricidade através de uma turbina. Este centro tem a capacidade de tratamento de 380000 t/ano de resíduo sendo gerados cerca de 170000 MWh/ano, onde 90% desta energia é inserida na rede pública.

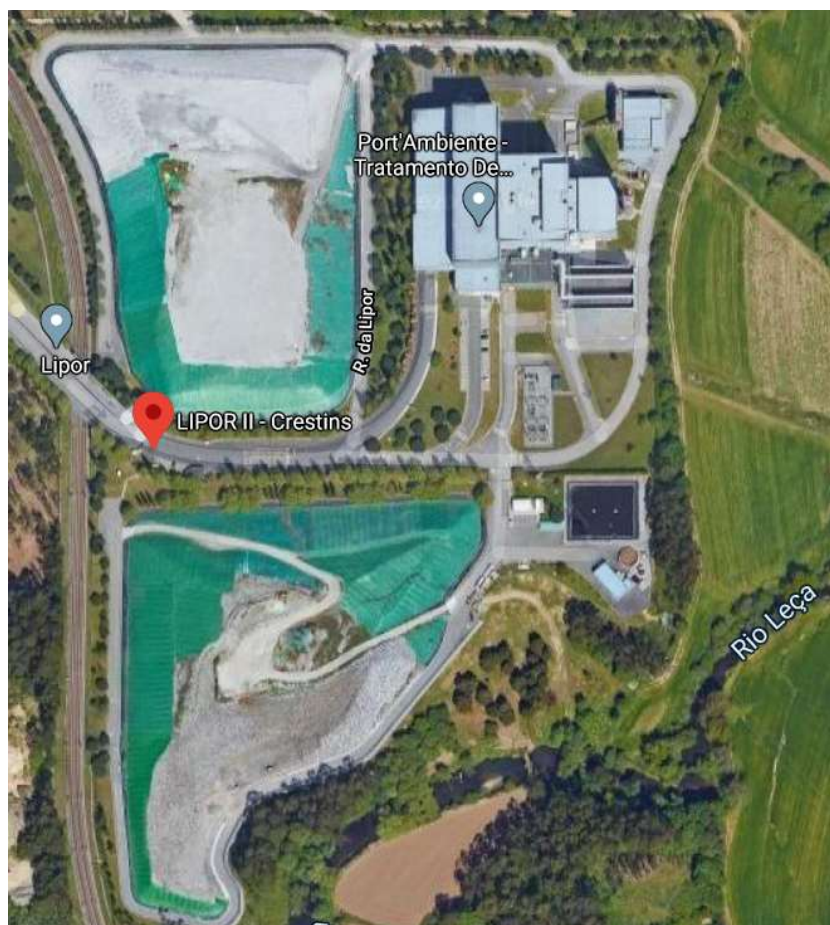


Figura 8 - Polo II da Lipor em Moreira da Maia

O confinamento técnico em aterro dita o fim do ciclo da gestão integrada de resíduos que não conseguiram ser valorizados pela LIPOR. O aterro está dividido em dois alvéolos (Norte e Sul), no primeiro ocorre a deposição de escórias e cinzas inertes derivadas da CVE e no segundo são depositados os RSU que, pelas suas características, não podem ser valorizadas na CVE [6].

3.2 LIXIVIADO VERDE DA LIPOR

No *Parque dos Verdes* e na plataforma de RVC, à semelhança do aterro, existe ocorrência de lixiviado. Os efluentes oriundos destes locais, possuem um elevado teor de matéria orgânica e podem ser tratados por uma ETAR ou então na própria empresa no polo II da Maia, recorrendo a lagoa de homogeneização com arejamento.

3.2.1 TRATAMENTO DO LIXIVIADO NA LIPOR

Em Moreira de Maia, a LIPOR tem à sua disposição uma estação de tratamento do lixiviado com a capacidade de tratamento de 35 m³/dia. Esta unidade (Figuras 9) é composta por uma lagoa de regularização, tratamento biológico e tratamento físico. Para além do efluente do aterro situado no polo II que é depositado diretamente na lagoa através dum sistema de drenagem direto, o lixiviado tanto do aterro como do PV e da plataforma do RVC é transportado para esta unidade. Após sair da lagoa de regularização, o lixiviado segue para um tratamento biológico recorrendo a um processo de lamas ativadas com auxílio de um tanque arejado e outro tanque anóxico. Seguidamente, o efluente passa por um sistema de ultrafiltração para a remoção dos sólidos suspensos. Para finalizar, o tratamento de osmose inversa, que é realizado através da aplicação mecânica de uma pressão superior sobre a solução mais concentrada, forçando a passagem de água com maior concentração de sais por uma membrana semipermeável, posteriormente o efluente final é descarregado no Rio Leça ou então aproveitado para rega [35].

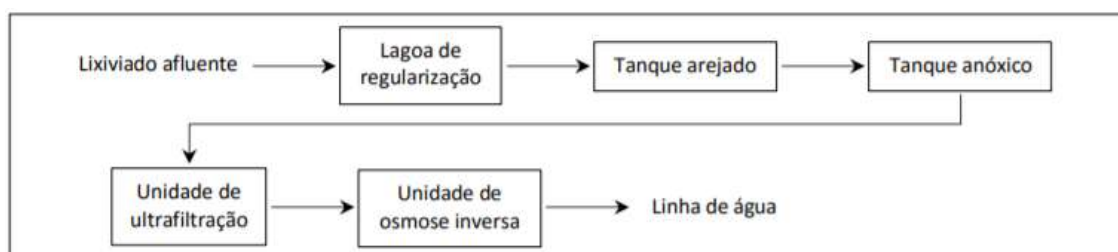


Figura 9 - Processo de tratamento da ETAL da LIPOR [35]

Num futuro próximo a Lipor terá à sua disposição no polo da Baguim do Monte uma unidade de valorização dos lixiviados (Figura 10) provenientes dos biorresíduos para serem usados como produtos para a agricultura nomeadamente biofertilizantes. Esta unidade será composta por quatro equipamentos, primeiro uma unidade de prensagem

de matéria orgânica seguido de uma unidade de decantação para a remoção dos sólidos suspensos, logo depois uma unidade de armazenamento com aquecimento e, posteriormente, uma unidade de filtração.

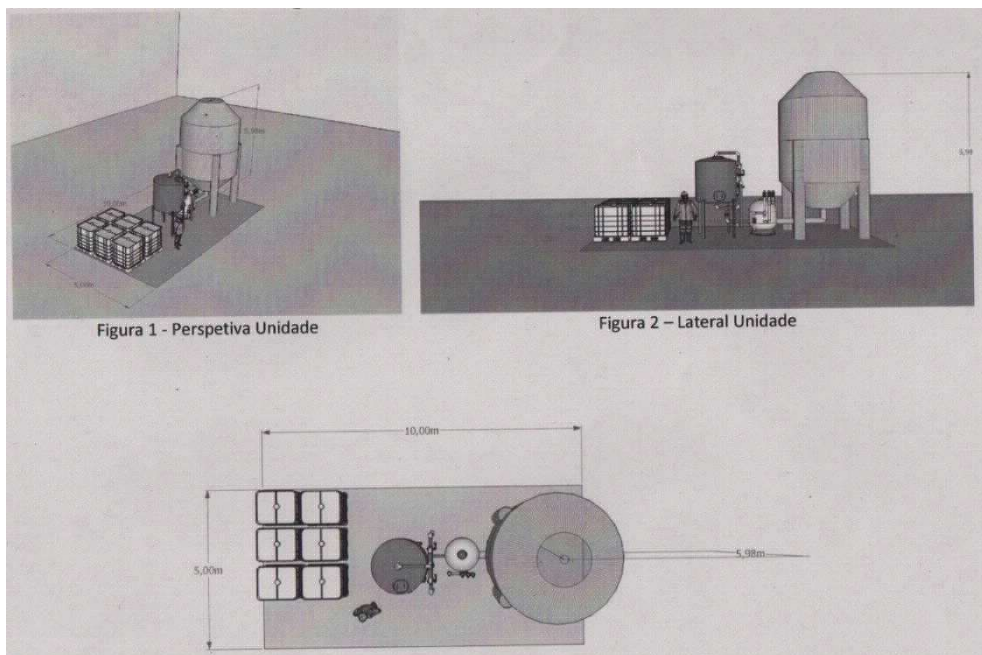


Figura 10 - Unidade nova de tratamento de lixiviados da LIPOR

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1 RECOLHA DAS AMOSTRAS

Para a realização deste trabalho foi recolhido cerca de 1,5 L de lixiviado do PV com uma garrafa de plástico transparente, cuidadosamente lavada. Para a recolha do *Nutrimais* (sólido) utilizou-se um saco de plástico; posteriormente colocou-se em água durante 24 h, e em seguida retirou-se a fração líquida. As amostras foram preservadas em frio desde o início e entre análises.

3.3.2 FILTRAÇÃO DOS LIXIVIADOS

Para filtrar os lixiviados foi utilizado o método da filtração por vácuo (Figura 11). Para a realização desta, é necessária uma bomba de vácuo, um kitasato, um funil de Buchner e papel de filtro com porosidade 40 μm . No bucal do kitasato colocou-se o funil de Buchner com o papel de filtro dentro. Após conectar-se a bomba ao kitasato, liga-se a mesma e coloca-se, cuidadosamente, a amostra a filtrar (cerca de 250 ml) à temperatura ambiente, dentro do funil. Por fim, assim que a filtração termina, retira-se o kitasato com a amostra filtrada (cerca de 150 ml). Este processo durou 2 horas e a energia consumida foi de 100 W·h.

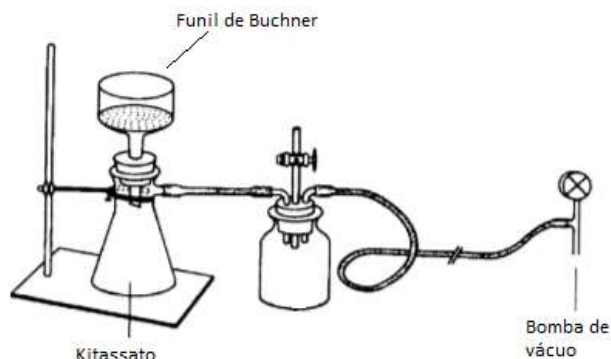


Figura 11 - Sistema de filtração por vácuo [36]

3.3.3 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

Todos os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Tecnologia e no Laboratório de Química e Biologia do Departamento de Engenharia Química do ISEP. As análises foram todas efetuadas segundo os protocolos disponíveis nos referidos laboratórios do ISEP, baseados no *Standard Methods for the Examination of Water and WasteWater* [37], e foram sempre realizadas pelo menos duas réplicas para comprovar resultados e diluições para respeitar as gamas de determinação dos métodos.

3.3.3.1 Condutividade e pH

A condutividade e o pH foram parâmetros medidos em laboratório, imediatamente após a recolha, utilizando os medidores da XS instruments COND 51 e da WTW pH340 (Figura 12), respetivamente.



Figura 12 - Medidor de pH e da condutividade elétrica

3.3.3.2 Dureza Total

Para medir a dureza total utilizou-se o método da titulação com a solução EDTA (Figura 13). Para tal é necessário adicionar à amostra solução tampão de amónia e gotas de

solução indicadora de Negro Eriocromo.

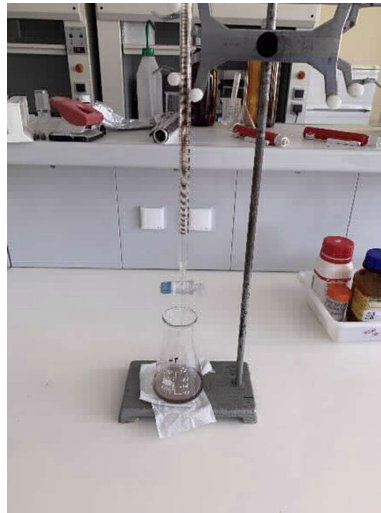


Figura 13 - Titulação

A dureza é classificada conforme indicado na Tabela 8:

Tabela 8 - Grau de dureza

Grau de dureza da água	Carbonato de cálcio (mg/L CaCO ₃)
Macia	0 – 60
Média	60 – 150
Dura	150 – 300
Muito dura	> 300

3.3.3.3 Carência Química de Oxigênio

Para determinar a CQO é necessário fazer uma digestão num reator da marca HACH (Figura 14) a 150 °C.

Para realizar a digestão é imposto que se adicione à amostra uma solução digestora e uma solução catalisadora. Após a digestão recorreu-se ao espectrofotómetro da marca HACH modelo DR2000 (Figura 15), no comprimento de onda 620 nm. A gama de determinação foi entre 20-1000 mg O₂/L.



Figura 14 - Digestor de CQO



Figura 15 - Espectrofotômetro

3.3.3.4 Carência Bioquímica de Oxigênio

A CBO_5 foi determinada a partir do método de incubação durante 5 dias com temperaturas entre os 18 e os 22 °C, para garantir as condições ideais para a atividade biológica. A solução era constituída pelo inóculo previamente preparado, pela amostra, e por NaOH granulado (Figura 16) colocado na parte superior do frasco.

O teor de oxigênio consumido foi determinado pelo sistema de medida OxiTop da WTW (Figura 17).

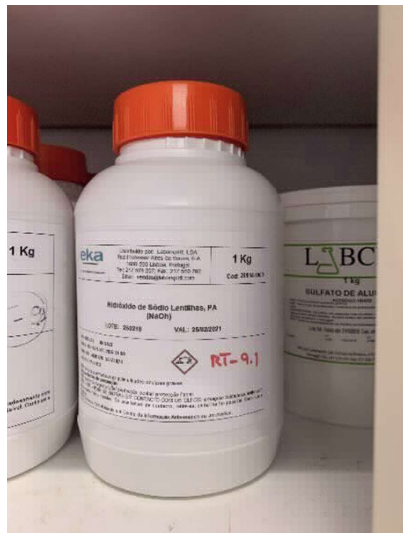


Figura 17 - NaOH granulado



Figura 16 - Sistema OxiTop

3.3.3.5 Fósforo Total

A concentração de fósforo total foi determinada pelo método do ácido ascórbico. O processo de determinação do teor em fósforo total passa por transformar todo o fósforo presente em ortofosfatos por oxidação. Este método inicia-se com uma digestão em

placa de aquecimento (Figura 18), seguida de uma reação em meio ácido do molibdato de amónio e do tartarato de potássio e antimónio com o ortofosfato, formando o ácido molibdatofosfórico que é reduzido pelo ácido ascórbico, resultando numa cor azul intensa na presença do ião fosfato.



Figura 18 - Digestão em placa de aquecimento

Por fim utilizou-se o espectrofotómetro da marca Shimadzu modelo UV-1700 num comprimento de onda de 880 nm (Figura 19).



Figura 19 - Espectrofotómetro UV-VIS

3.3.3.6 Potássio

O potássio foi determinado pelo método da fotometria de chama num aparelho da marca Corning modelo Flame Photometer 410 (Figura 20). O aparelho aspira um pouco da amostra fazendo-a subir por uma coluna até a uma chama que muda de cor consoante o elemento presente.



Figura 20 - Fotômetro de chama

3.3.3.7 *Azoto Total*

Para a obter a concentração de azoto total presente na amostra inicialmente é necessário fazer uma digestão a quente num reator da marca VELP científica modelo DK 6 (Figura 21) durante 150 min (30 min a 180 °C e 120 min sempre a aumentar a temperatura até ao máximo de 380 °C).

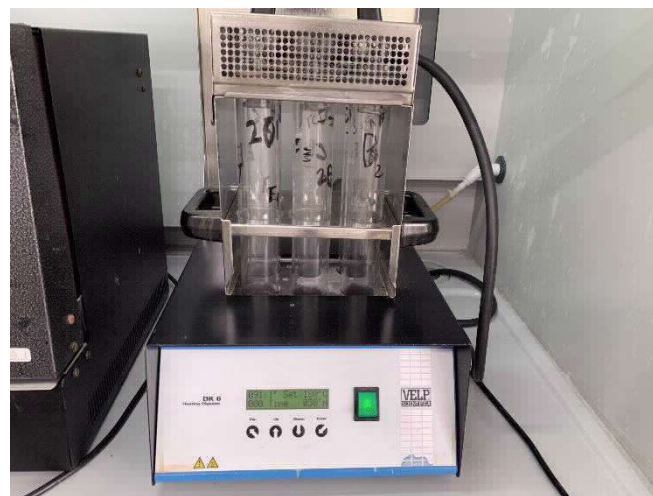


Figura 21 - Reator para digestão de N

Após a digestão deixa-se a arrefecer e posteriormente realiza-se a destilação num aparelho da marca TECATOR modelo Kjeltec System 1002 Distilling Unit (Figura 22) durante 4 min. Devido ao indicador misto colocado antes da destilação, a sua cor altera-se de rosa para verde. Por fim realiza-se uma titulação.



Figura 22 - Aparelho de destilação de N Kjeldahl

3.3.3.8 Azoto Amoniacal

Para determinar o azoto amoniacal presente na amostra é necessário primeiramente ajustar o pH a 9,5 com uma solução tampão de borato. Em seguida, realiza-se uma destilação à semelhança do azoto total e posteriormente efetua-se a titulação.

3.3.3.9 Nitratos

A concentração de nitratos é determinada no espectrofotómetro da marca HACH e modelo DR2000 num comprimento de onda de 500 nm. Para tal é necessário colocar na amostra um reagente (NitraVer 5) (Figura 23) e deixá-lo atuar durante 5 min e depois proceder à leitura. A gama de leitura foi entre 0 e 30 mg/L NO_3^- .



Figura 23 - Reagente NitraVer 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- 4.1 CONDUTIVIDADE E pH
- 4.2 DUREZA
- 4.3 CQO E CBO₅
- 4.4 FÓSFORO TOTAL E POTÁSSIO
- 4.5 AZOTO TOTAL E AMONICAL
- 4.6 NITRATOS
- 4.7 APLICABILIDADE DOS LIXIVIADOS

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONDUTIVIDADE E pH

Como se pode observar na Tabela 9, os valores de pH de ambas as amostras encontram-se próximo da neutralidade, entre 6,8 e 7,9. A diferença entre os valores das amostras filtradas e não filtradas varia entre os 0,3 e os 0,7.

Relativamente aos valores de pH determinados nas amostras, podemos afirmar que estes estão em conformidade com os VLE.

A condutividade elétrica do PV, quer da amostra filtrada quer da não filtrada, é de 8,1 mS/cm e 7,4 mS/cm, respetivamente.

Quanto aos valores obtidos para o extrato de *Nutrormais*, a condutividade elétrica é de 6,96 mS/cm para o não filtrado e de 5,02 mS/cm para o filtrado, pelo que todos estes valores estão acima do VLE estabelecido para o coletor tido em conta como exemplo.

Uma vez que, tanto o lixiviado do PV e como o extrato de *Nutrormais*, devem apresentar uma concentração iónica baixa, os valores da condutividade são um pouco elevados.

Tabela 9 - pH e condutividade das amostras

	PV n/filtrado	PV filtrado	<i>Nutrormais</i> n/filtrado	<i>Nutrormais</i> filtrado	VLE descarga	VLE coletor
pH	6,9	6,8	7,9	7,1	6,9-9,0	5,5-9,5
Condutividade (mS/cm)	8,1	7,4	7,0	5,0	-	3,0

4.2 DUREZA

Através da análise da Tabela 10, podemos concluir que com a realização da filtração a dureza da amostra diminui, ou seja a concentração de sais de cálcio e magnésio diminui. A amostra do PV tanto a filtrada como a não filtrada é considerada muito dura, no que diz respeito a amostra do *Nutrormais* ambas são consideradas como duras.

Tabela 10 - Dureza das amostras

	PV n/filtrado	PV filtrado	<i>Nutrormais</i> n/filtrado	<i>Nutrormais</i> filtrado	VLE descarga	VLE coletor
Dureza (mg CaCO₃/L)	713±113	645±55	298±28	250±0	-	-

4.3 CQO E CBO₅

Segundo os resultados da Tabela 11, podemos afirmar que os valores da CQO são bastante elevados comparativamente com os VLE indicados.

Uma vez que o lixiviado do PV é proveniente de material vegetal, ou seja, com grande teor de material biodegradável, era de esperar valores de CBO₅ elevados. Procedendo à análise da razão entre a CBO₅/CQO verifica-se que a biodegradabilidade deste lixiviado é bastante elevada (CBO₅/CQO≈0,78).

Relativamente à amostra do extrato de *Nutrimais*, a razão entre CBO₅/CQO é relativamente baixa (CBO₅/CQO≈0,3), o que indica que a sua biodegradabilidade é baixa. Após a filtração, podemos concluir que houve uma grande diminuição dos valores de CQO e principalmente da CBO₅, o que já era expectável, uma vez que parte da matéria orgânica (insolúvel) fica retida no filtro.

Tabela 11 - Caracterização da matéria orgânica das amostras

	PV n/filtrado	PV filtrado	Nutrimais n/filtrado	Nutrimais filtrado	VLE descarga	VLE coletor
CQO (mg/L O₂)	5846±113	3568±210	3518±51	2913±42	150	1000
CBO₅ (mg/L O₂)	4533	1822	1050	495	40	500

4.4 FÓSFORO TOTAL E POTÁSSIO

Observando a Tabela 12, conclui-se que, quer a amostra do PV filtrado quer a amostra do PV n/filtrado apresentam um teor de fósforo elevado. Ainda assim, houve uma redução notável após a filtração, apesar de este valor ainda se encontrar acima do VLE estabelecido para uma descarga em meio hídrico.

No que diz respeito ao extrato de *Nutrimais*, a concentração de fósforo é considerável, mas mais baixa do que a amostra do PV. Na amostra do extrato de *Nutrimais* filtrado, embora tenha havido uma diminuição na concentração de fósforo, esta não foi de grande relevância. Ambos os valores de concentração nas amostras do extrato de *Nutrimais* são substancialmente inferiores aos VLE definidos.

As concentrações de potássio nas quatro amostras parecem ser algo elevadas, havendo uma diminuição significativa na sua concentração após filtração. Para este nutriente não foram encontrados VLE para que seja possível efetuar uma comparação.

Tabela 12 - Concentração de fósforo total e potássio nas amostras

	PV n/filtrado	PV filtrado	Nutrimais n/filtrado	Nutrimais filtrado	VLE descarga	VLE coletor
Fósforo total (mg/L P)	24,8±4,2	19,1±0,2	5,4±0,4	4,9±1,1	10	20
Potássio (mg/L K)	2000	1800	1600	1400	-	-

4.5 AZOTO TOTAL E AMONICAL

Analisando a Tabela 13, podemos concluir que na amostra do PV a concentração de azoto é elevada. Estes números eram esperados uma vez que o lixiviado é derivado de relvas, folhas verdes e outros resíduos verdes ricos em azoto.

O azoto total quantifica o azoto amoniacal e o azoto orgânico presentes na amostra; assim sendo, subtraindo à concentração do azoto total a concentração de azoto amoniacal, obtemos a concentração do azoto orgânico.

Após a filtração, as concentrações, quer do azoto total quer do azoto amoniacal, diminuem de forma relevante. Mesmo assim, estes resultados são bastante superiores aos VLE, quer para a descarga em meio hídrico quer para o coletor exemplificado.

Relativamente à amostra do extrato de *Nutrormais* a concentração do azoto total não é tão elevada quanto a do PV uma vez que o lixiviado desta não deriva apenas de resíduos verdes. Os valores do azoto total presente no extrato de *Nutrormais* são muito superiores aos VLE exigidos, ao contrário do que se passa com o azoto amoniacal, cujos resultados são inferiores ao exigido para descarga num coletor.

Tabela 13 - Concentração de azoto total e amoniacal nas amostras

	PV n/filtrado	PV filtrado	Nutrormais n/filtrado	Nutrormais filtrado	VLE descarga	VLE coletor
Azoto total (mg/L N)	501±9	461±8	233±7	213±10	15	90
Azoto amoniacal (mg/L NH₄⁺)	400±11	338±2	40±1	38±6	10	60

4.6 NITRATOS

A análise efetuada à amostra não filtrada do PV demonstra que, comparativamente aos VLE, esta apresenta um valor bastante acima destes. Após a filtração, embora tenha havido uma diminuição da concentração de nitratos, esta não foi relevante, continuando o resultado acima dos VLE, conforme é possível observar na Tabela 14.

No que diz respeito ao extrato de *Nutrormais*, seria também de esperar uma elevada concentração de nitratos, uma vez que este produto resulta da compostagem de resíduos alimentares e verdes em decomposição. Também neste caso, os valores encontrados são superiores aos VLE estipulados.

Tabela 14 - Concentração de Nitratos nas amostras

	PV n/filtrado	PV filtrado	Nutrormais n/filtrado	Nutrormais filtrado	VLE descarga	VLE coletor
Nitratos (mg/L NO₃⁻)	166±5	159±2	169±35	143±6	50	50

4.7 APLICABILIDADE DOS LIXIVIADOS

Os nutrientes NPK, também denominados como macronutrientes são essenciais para o crescimento das plantas.

O azoto, sendo o macronutriente mais requerido pela planta é assimilado por esta sob a forma de azoto amoniacal e nitratos, e é utilizado para formar proteínas e aminoácidos.

O potássio é o segundo elemento mais necessário para o desenvolvimento da planta. Este macronutriente funciona como um ativador enzimático.

O fósforo é o macronutriente responsável pelo armazenamento e transferência de energia; tal como o azoto e o potássio, o fósforo é vital para as plantas.

No entanto, se estes nutrientes forem utilizados na produção de um biofertilizante deverá ter-se em conta que o seu excesso pode causar sérias perturbações de contaminação dos solos, especialmente nos casos do azoto e do fósforo. No que concerne ao fósforo, a sua utilização em grande quantidade poderá resultar numa maior mobilidade deste nutriente arrastando consigo metais pesados para os meios hídricos envolventes. No que diz respeito ao azoto, embora seja muito necessário para o desenvolvimento da planta, quando em demasia poderão existir perdas contaminando o solo, atmosfera e a água, contribuindo para a eutrofização [38].

No que refere às amostras estudadas (PV filtrado e extrato de *Nutrimais* filtrado) e comparando as mesmas com os valores de um biofertilizante líquido, utilizado na pulverização da cultura de margaridas (Tabela 15), podemos constatar que as concentrações de azoto e fósforo são bastante inferiores às do biofertilizante citado. Relativamente ao potássio e ao contrário dos restantes, este apresenta valores superiores.

Tabela 15 - Comparação entre amostras e biofertilizante [39]

	PV filtrado (g/L)	Nutrimais filtrado (g/L)	Biofertilizante usado na cultura de margaridas (g/L)
Azoto (N)	0,461	0,213	8,4
Potássio (K)	1,8	1,4	0,32
Fósforo (P)	0,0191	0,0049	0,20

Sendo o lixiviado antes e após tratamento (filtração) enquadrado no conceito de água residual, outra aplicação potencial seria a sua utilização como fonte de nutrientes para a produção de microalgas.

Nos anos 1970, desenvolveu-se o interesse no aproveitamento de microalgas para energias renováveis. Trata-se de um conjunto diversificado de microrganismos procariotas e eucariotas com capacidades fotossintéticas que tem um rápido crescimento. O seu cultivo e produção é simples, dado não necessitar de quase nenhuma manutenção e podendo-se, inclusive, cultivar em água imprópria para consumo humano e com fácil acesso a nutrientes. A biomassa resultante desta produção tem várias aplicações: complementar ou ser usado como uma ração para animais, como suplemento alimentar para humanos, na indústria farmacêutica e cosmética e como fonte de energia renovável (biocombustíveis) [40, 41].

CONCLUSÕES

- 5.1 CONCLUSÕES
- 5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

5 CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES

Os lixiviados de resíduos alimentares e resíduos verdes têm na sua composição uma quantidade apreciável de nutrientes (C, N, P e K). Quando descarregados no domínio público hídrico apresentam o potencial de impactos ambientais negativos, como por exemplo a eutrofização, necessitando, portanto, de um tratamento antes da sua descarga nesse meio. No caso da descarga no coletor municipal, também as cargas poluentes destes lixiviados podem constituir uma limitação à sua descarga, representando adicionalmente um custo. Em qualquer dos casos, o tratamento prévio à descarga no meio hídrico ou à descarga no coletor representam um desperdício significativo de recursos (nutrientes), que poderiam ser utilizados para outras aplicações tais como biofertilizantes ou corretivos agrícolas.

Devido à necessidade cada vez maior de implementar um modelo económico circular, a valorização dos elementos presentes nos lixiviados surge como um conceito indispensável para a valorização dos nutrientes neles contidos, contribuindo simultaneamente para a minimização e redução dos impactos ambientais causados pela emissão dos mesmos para o meio ambiente. A não valorização e o não tratamento deste tipo de efluentes tem consequências nefastas para o ecossistema, isto é, contaminação dos solos, poluição dos lençóis freáticos, das águas subterrâneas e dos aquíferos.

Em suma, ambas as amostras, após filtração, mostram uma redução na concentração de nutrientes. Relativamente ao fósforo, a amostra do PV não filtrado apresenta concentração acima de ambos os VLE, enquanto que no PV filtrado está acima do VLE de descarga em meio hídrico e abaixo do VLE para o coletor. A concentração de azoto amoniacal em ambas as amostras de PV estão acima dos VLE estabelecidos, ao passo que as amostras de extrato de *Nutrimais* estão ambas acima do VLE de descarga, mas abaixo do VLE para o coletor. No que diz respeito ao azoto total e aos nitratos, as concentrações, quer do PV quer do extrato de *Nutrimais*, estão acima dos VLE em questão. O fósforo, comparativamente aos outros macronutrientes presentes, é aquele que está em menor quantidade.

Tendo em consideração o subcapítulo da aplicabilidade dos lixiviados podemos concluir, através da Tabela 15 apresentada, que estes lixiviados não poderiam ser utilizados, tal como estão, como biofertilizantes, mas sim como complemento na elaboração dos mesmos, uma vez as concentrações de alguns nutrientes encontradas são demasiado baixas. Uma outra opção para estes lixiviados é a utilização destes como fonte de nutrientes para a produção de microalgas

Por outro lado, tendo em conta os parâmetros de CBO₅ e CQO antes e após a filtração, podemos afirmar que houve o início de uma estabilização microbiológica, uma vez que estes valores apresentam uma redução e que, por isso, também beneficiariam com um processo mais eficiente [39].

Uma vez que esta dissertação foi realizada durante a pandemia de COVID-19 que nos obrigou a um confinamento de três meses, os resultados não foram totalmente esclarecedores dado que o uso do laboratório foi interdito nesse período, pelo que não foi possível realizar todos os ensaios previstos e necessários.

5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, seria interessante realizar análises ao longo de um ano, uma vez que no nosso país as condições pluviométricas variam bastante, ou seja, a amostra pode estar ou não mais diluída e, portanto, conter maior ou menor concentração de macronutrientes.

Relativamente à amostra do *Nutrimais*, como referido anteriormente, este foi suspenso em água durante 24 horas, pelo que seria importante entender, se caso ficasse apenas 12 horas ou até mais de 24 horas, as variações de concentração destes macroelementos seriam semelhantes ou não.

Acresce ainda que, a presença de micronutrientes, tais como metais pesados ou outros, pode constituir uma limitação à utilização destes lixiviados como fertilizante orgânico no cultivo de plantas para fins alimentares, pelo que seria conveniente fazer a determinação analítica da concentração desses micronutrientes potencialmente nocivos, bem como testar/monitorizar o desenvolvimento de plantas e microalgas nutridas por estes lixiviados.

Existem outros tipos de tratamento para além da filtração. Um exemplo é a pasteurização, pelo que seria vantajoso entender se este método é mais ou menos eficaz do que o que foi utilizado neste estudo, nomeadamente ao nível da estabilização e remoção de microrganismos patogénicos.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

6 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] Gomes, C. (2008). *Estudo do Comportamento de Aterros de Resíduos. Caracterização Física, Bioquímica e Mecânica dos Resíduos Sólidos Urbanos*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [2] Graça, V. (2015). *Plano de Gestão de Resíduos sólidos urbanos - Uma Proposta para a Cidade de Porto Novo, Ilha de Santo Antão, Cabo Verde*. Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.
- [3] <https://enea.apambiente.pt/content/valorizacao-de-residuos>, acessido a 12 de fevereiro 2020.
- [4] Agência Portuguesa do Ambiente (2019). *Persu 2020+ Documento para discussão pública*.
- [5] Ellen MacArthur Foundation. (2017). *Conceito - Economia Circular*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/conceito>, acessido a 19 de fevereiro 2020
- [6] <https://lipor.pt/pt/>, acessido a 17 de fevereiro 2020
- [7] Decreto-Lei no 236/98. (1998). Diários da República - Portaria 236/98, de 1 de agosto. Diário Da República - 1 Série-A, No 176, 3676–3722.
- [8] ERSAR. (2007). *Regulamento do serviço de distribuição de água ao município de Matosinhos*.
- [9] Martinho, G., Santana, F., Santos, J., Brandão, A., & Santos, I. (2008). *Gestão e tratamento de lixiviados produzidos em aterros sanitários de resíduos urbanos*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- [10] Niladri Paul, Utpal Giri, G. R. (2016). Composting. In *Organic Fertilizers History, Production, Application* (p. 13).
- [11] Mourão, I., Araújo, J., Brito, M. (2006). *Compostagem para a Agricultura Biológica*. Manual de Agricultura Biológica - Terras de Bouro (119–139).
- [12] Câmara Municipal de Esposende. (2020). *Como estratégia de gestão de resíduos verdes e orgânicos*.
- [13] <https://www.pipelineinfrastructure.com/noticias-y-articulos-tecnicos/item/35-refuerzo-estructural-de-digestores-anaerobios-en-edar>, acessido a 17 de fevereiro de

- 2020.
- [14] Carneiro, D. (2009). *Viabilidade Técnica E Económica De Uma Unidade Centralizada De Co-Digestão Anaeróbia De Resíduos Orgânicos*. Universidade do Porto Faculdade de Engenharia.
- [15] Carrilho, N. (2012). *Valorização de Bio-Resíduos Alimentares por Digestão Anaeróbia Descentralizada – Caso de Estudo : Campul da FCT / UNL*. 126.
- [16] Ribeiro, N. J. M. da S. (1999). *Estudos Dinâmicos do processo de digestão anaeróbia com vista ao desenvolvimento de um sistema inteligente de supervisão baseado em conhecimento*. Escola de Engenharia da Universidade do Minho.
- [17] Kunz, A., Steinmetz, R. L. R., & Amaral, A. C. do. (2019). Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato.
- [18] El-Fadel, M., Bou-Zeid, E., Chahine, W., Alayli, B. (2002). *Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content*. *Waste Management*, 22(3), 269–282.
- [19] Peng, Y. (2017). *Perspectives on technology for landfill leachate treatment*. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S2567–S2574.
- [20] Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468–493.
- [21] Moreira, J. (2009). *Tratamento Terciário do Lixiviado de um Aterro de Resíduos Urbanos pelos Processos Fenton e Foto-Fenton com Radiação Solar*. Faculdade de Engenharia da Universidade de Engenharia.
- [22] Fonseca, A. (2013). *Monitorização de metais pesados durante tratamento electroquímico em lixiviados de aterros sanitários*. Universidade da Beira Interior.
- [23] Wiszniowski, J., Robert, D., Surmacz-Gorska, J., Miksch, K., Weber, J. (2006). *Landfill leachate treatment methods: A review*. *Environmental Chemistry Letters*, 4(1), 51–61
- [24] Ihan, F., Kurt, U., Apaydin, O., Gonullu, M. (2008). *Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes*. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1–3), 381–389.
- [25] Mollah, M., Morkovsky, P., Gomes, J., Kesmez, M., Parga, J., Cocke, L. (2004). *Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation*. *Journal of Hazardous Materials*, 114(1–3), 199–210.
- [26] Luz, P. (2012). *Eletrocoagulação de Lixiviados de Aterros Sanitários*. Universidade da Beira Interior.

- [27] Feng, L., Hullebusch, E., Rodrigo, M., Esposito G., Oturan, M. (2013). Removal of residual anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals from aqueous systems by electrochemical advanced oxidation processes. *Chemical Engineering Journal* 228, 944-964.
- [28] Santos, I. (2008). *Diagnóstico E Avaliação Da Gestão De Lixiviados Produzidos Em Aterros Sanitários De Resíduos Urbanos*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- [29] Levy, J.; Santana, C. (2004). Funcionamento das estações de tratamento de águas lixivantes e acções para a sua beneficiação, CESUR, Lisboa. Estudo elaborado para o INR.
- [30] Mishra, D., Rajvir, S., Mishra, U., Kumar, S. (2013). *Role of Bio-Fertilizer in Organic Agriculture: A Review*. *Research Journal of Recent Sciences*, 2, 39–41.
- [31] Mahdi, S. S., Hassan, G. I., Samoon, S. a., Rather, H. a., Dar, S. a., & Zehra6, B. (2010). *Bio-Fertilizers In Organic Agriculture*. *Journal of Phytology*, 2(10), 42–54.
- [32] Mhosro, M., Yousef, S. (2012). *Bacterial Biofertilizers for Sustainable Crop Production: a Review*. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 7(5), 307–316.
- [33] Hanapi, S. Z., Awad, H. M., & Aziz, R. A. (2012). *Biofertilizer : Ingredients for Sustainable*. *April 2017*.
- [34] Silva, D. A. F. da. (2016). *Análise dos consumos energéticos nas ETAR . Casos de estudo : ETAR do Seixal e Sesimbra . 112*.
- [35] Costa, T. (2015). *Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos em Portugal*. Técnico de Lisboa.
- [36] Hilário, F. F. (n.d.). Recristalização (Purificação de sólidos. In *Experimentos de Química Organica - Experimento 3* (pp. 1–4).
- [37] APHA, AWWA, & WEF. (2017). *Standard Methods For The Examination Of Water and Wastewater* (E. W. R. Rodger B.Baird, Andrew D.Eaton (ed.); 23rd Edition).
- [38] Isabel, J., Lopes, F., Mário, D., De, M., Furtado, M., & Cunha, C. (2008). *Valorização agrícola e avaliação da qualidade de matérias orgânicas fertilizantes*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- [39] Marrocos, S. de T. P. (2011). *Composição de biofertilizante e sua utilização via fertirrigação em meloeiro*. Universidade Federal Rural do Semi-Árido.
- [40] <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=254&sub3ref=970>,
acedido a 9 de novembro de 2020
- [41] Duarte, S. I. S. (2013). *Estudo da produção de microalgas a partir de águas residuais*. Escola Superior de Tecnologia de Tomar.

ANEXOS

7.1 ANEXO 1

7 ANEXOS

7.1 ANEXO 1

Neste anexo descrevem-se os métodos utilizados para a caracterização das diversas amostras analisadas.

7.1.1 Dureza

Titulação -> Medir 50 mL de amostra à temperatura ambiente. Adicionar 1,5 mL de solução tampão de amónia e 3 gotas de solução indicadora de negro eriocromio e titular com solução EDTA.

$$Dureza = \frac{N_{EDTA} \times V_{EDTA} \times 5000}{V_{TOMA}}$$

N_{EDTA} - Concentração de EDTA

V_{EDTA} - Volume gasto na bureta

V_{TOMA} - Volume da amostra usado

7.1.2 CQO

Branco -> Nos frascos da CQO introduzir 2,5 mL de água desmineralizada, 1,5 mL de solução digestora e 3,5 mL de solução catalisadora

Amostras -> Nos frascos da CQO introduzir 2,5 mL de amostra, 1,5 mL de solução digestora e 3,5 mL de solução catalisadora

Reator -> Colocar os frascos no reator durante 2h a 150 °C. Passado as 2h deixar aproximadamente durante 30 min a arrefecer.

Espectrofotómetro -> Começar pelo branco (deve dar 0) e avaliar o resto das amostras fazendo 4 leituras do mesmo frasco a rodar 90 graus.

7.1.3 CBO₅

- Verificar se o pH está entre 6,5 e 7,5, caso não esteja, acrescentar H₂SO₄ ou NaOH a 0,1N e não pode exceder 0,5% da amostra.
- Ver quadro onde se entende a quantidade de solução a colocar nos frascos mediante o valor da CQO. (CBO₅ esperado= 0,6*CQO)
- Acrescentar o inoculo de terra, cerca de 10% do volume da amostra colocada. Realizar um branco com o mesmo volume da amostra, mas com água. Colocar barras de agitação magnéticas nos frascos.
- Colocar NaOH sólido nas cápsulas de cima
- Colocar durante 5 dias as garrafas na incubadora e regulá-la para a temperatura adequada (entre (18 e 22 °C)

7.1.4 Fosforo

Digestão em placa de aquecimento:

- Medir 50 mL da amostra para um erlenmeyer e adicionar 1 gota de fenolftaleína. Se a amostra ficar cor de rosa adicionar gotas de H₂SO₄ até a cor desaparecer.
- Adicionar 1 mL de H₂SO₄, 0,4 g de persulfato de amônia sólido e agitar.
- Colocar na placa e deixar ferver até ficar até a um volume final de 10 mL.
- Após a redução de volume deixar arrefecer e diluir a amostra para 30 mL com água ultrapura de grau 3. Em seguida adicionar uma gota de fenolftaleína e neutralizar a solução com NaOH 40% até uma coloração rosa suave e perfazer o volume até 50 mL.

Método colorimétrico:

- Aos 50 mL adicionar H₂SO₄ a 5 N até descolorar, adicionar 8 mL de reagente combinado* e agitar bem. Esperar entre 10 min e 30 min e medir a absorvância a 880 nm.

* 25 mL de H₂SO₄ a 5 N, 2,5 mL de tartarato de potássio, 7,5 mL de molibdato de amônio, 15 mL de ácido ascórbico.

7.1.5 Azoto Total

Digestão:

- Nos tubos para a digestão colocar 25 ml da amostra e acrescentar posteriormente 12 ml de ácido sulfúrico e 2 pastilhas de catalisador. Fazer igual para a amostra em branco

- Colocar no digestor durante 30 min a 180 °C e aumentar gradualmente até ao 320 °C durante 1h30 min

Destilação:

- Nos tubos da digestão colocar 75 ml de água desmineralizada (dentro da hotte)

- Num matraz colocar 25 ml de ácido bórico 2% e acrescentar 2 gotas de indicador misto

- Efetuar a destilação. Entre ensaios fazer sempre uma destilação com água para efetuar a lavagem

Titulação:

- Após retirar a matraz fazer a titulação com HCL de concentração 0,08365 M. mudança de cor de verde para rosa.

7.1.6 Azoto Amoniacal

- Colocar devidamente o tubo digestor, contendo 100 ml e 7,5 ml de tampão borato. (NOTA- ver o pH e ajustar, se necessário, o pH a 9,5 com NaOH a 1 M)

- Colocar num matraz 25 ml de ácido bórico a 2% e 4 gotas de indicador misto, colocando posteriormente na destiladora

- Após a destilação, titular com uma solução padrão de HCL (c= 0,01 N) e verificar a mudança de cor de verde para rosa.

- Efetuar o mesmo procedimento para o branco. Ter em atenção de realizar uma lavagem entre cada destilação para não haver contaminações.

